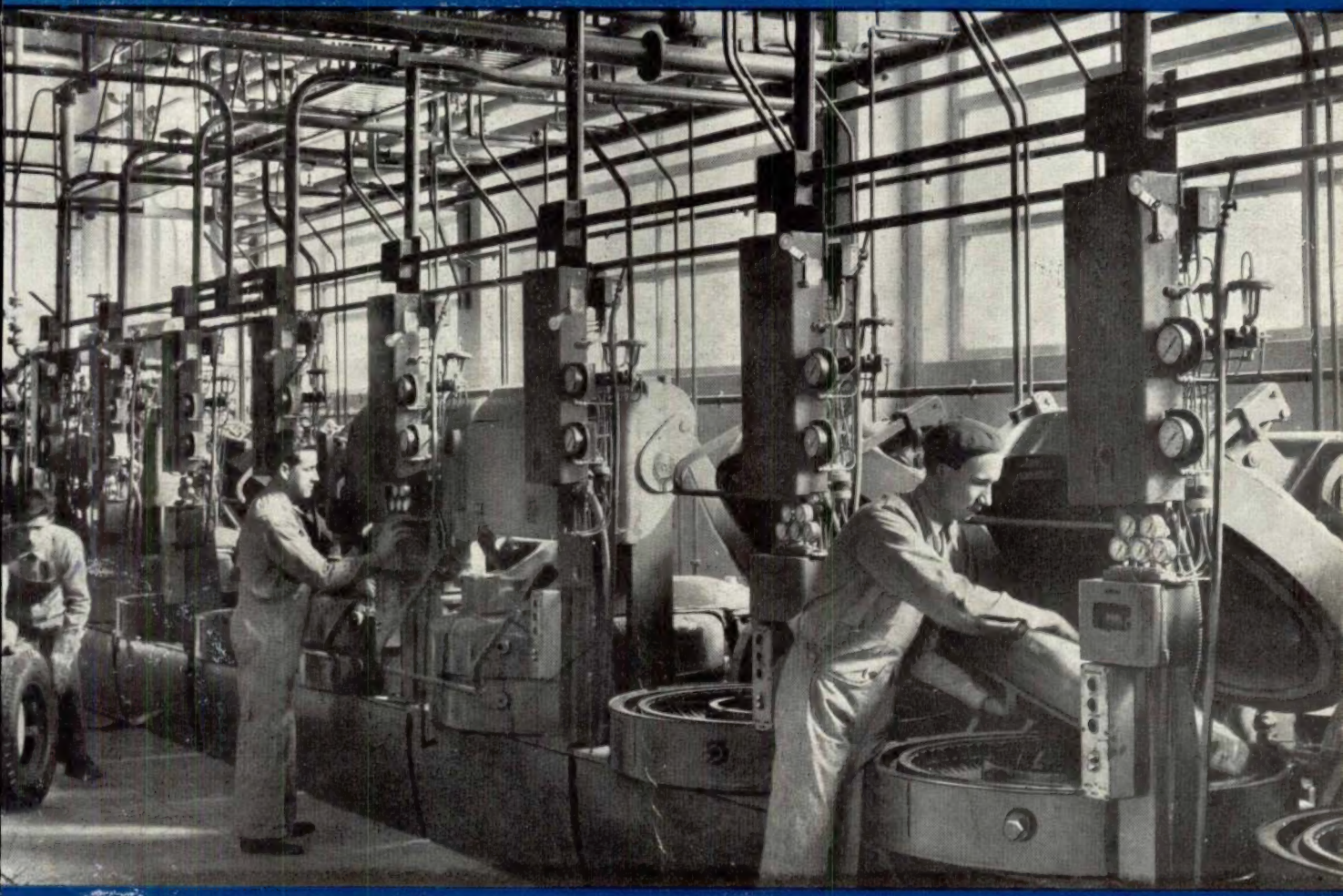
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 170-Janeiro-1947

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMÉRCIO, 56, 3.º
LISBOA

União Eléctrica Portuguesa

S. A. R. L.

SEDE
Rua Duque de Loulé, 240 — Pôrto
Telef. 2828 - 2829 — 2830 — Est. 90

DELEGAÇÃO
R. António Maria Cardoso, 13, 2.º-Lisboa
Telefones 27232 — 27233 — Est. 365

ELECTRICIDADE DO LINDOSO
E DAS CENTRAIS DO FREIXO E DA CACHOFARRA

A **União Eléctrica Portuguesa** distribui e vende electricidade nos **distritos** de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU LEIRIA e de SETÚBAL, pela mais extensa rêde de alta tensão em Portugal (mais de 1.200 kms), levando fôrça motriz às FÁBRICAS e luz a CIDADES, VILAS, ALDEIAS e LUGARES

A **U. E. P.** facilita a electrificação de Fábricas e oferece as maiores vantagens nas suas tarifas

Consultar a **U. E. P.** e consumir a sua energia é **proveitoso negócio**

Cimento «Liz» hidrofugado «N»

PRÓPRIO PARA

IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS

REBOCOS, FUNDAÇÕES, PAREDES, ETC.

Substitue com vantagem de ordem técnica e económica todos os impermeabilizadores conhecidos.

Em sacos de papel de 50 quilos

Peçam instruções para o seu emprêgo

Sede: Rua do Cais de Santarém, 64, 1.º — LISBOA
Filial: Rua de Santo António, 190-A, 1.º — PORTO

Agentes em todo o País

NÚMERO
170
Janeiro—1947

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N. / TEL. 70144 (linha 50)

DIRECTOR
FERNANDO MANZANARES ABECASIS

ADMINISTRADOR
FERNANDO JÁCOME DE CASTRO

BIBLIOTECÁRIO
JOSÉ TELES

SECRETÁRIO
HENRIQUE ESTÁCIO MARQUES

REDACTOR
JOSÉ QUINTINO ROGADO

NÚMERO AVULSO 7$50

ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	21$00	40$00	75$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	45$00	80$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ESTUD. DO I. S. T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.da
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Fábrica do Lousado «Mabor» — Secção de Vulcanização: O trabalho das prensas.

		Págs.
Notas histórico-pedagógicas sobre o Instituto Superior Técnico	Eng.º Alfredo Bensaude	99
Aproveitamento da energia atómica	Dr. Armando Gibert	109
Determinação de tensões no betão pelo método do tensómetro fotoelástico	Eng.º António de Sousa Coutinho	123
Noções topológicas num Espaço Métrico	António Sales Luís	143
Cálculo dum silo rectangular de betão armado	Eduardo Cansado de Carvalho	147
Biblioteca		156

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

Sondages. Etanchements. Consolidations "Procédés Ródio"

Sondagens geológicas
Estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geofísico
Consolidação e impermeabilização de terrenos e alvenarias por meio de injecções de cimento, produtos químicos, emulsão betuminosa Shell-perm, etc.
Estacas de beton armado, sistema **Ródio** sem fazer trepidar o solo
Rebocos comprimidos por «cement gun»
Fundações em terrenos difíceis por congelação artificial, ou baixando o nível da água friática.

Sociedade Anónima com séde em PARIS

As melhores referências no país e no estrangeiro

Engenheiro delegado para Portugal

Walter Weyermann

P. do Município, 32-2.º—LISBOA Tel. 2 8685

CARROS INDUSTRIAIS

MOTORES MARÍTIMOS

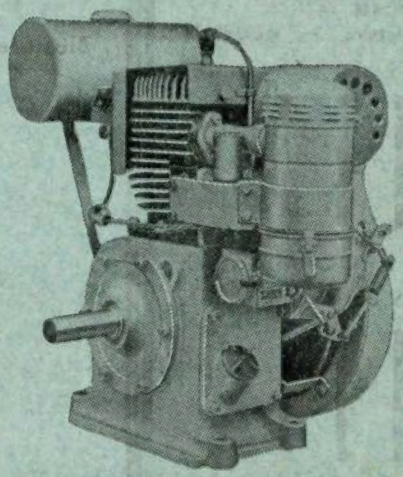
Douglas

GRUPOS GERADORES

MOTORES INDUSTRIAIS A GASOLINA E GASOLINA/PETRÓLEO

Série 1 cilindro

B.H.P.	R.P.M.
2 1/2	1800
4 1/2-5	1800
6	1800
7	1800



Em Armazém para entrega imediata

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS PARA PORTUGAL

H. M. F. HATHERLY, L.DA—Rua do Comércio, 8—Tel. 22001

TÉCNICA

FERNANDO MANZANARES ABECASIS

DIRECTOR

ANO XXII - N.º 170 JANEIRO 1947

NOTAS HISTÓRICO-PEDAGÓGICAS SOBRE O INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO[1]

POR ALFREDO BENSAUDE

Organizador do mesmo Instituto e seu Director desde 1911 a 1920

C. D. 37

A «Técnica» continua, persistentemente, empenhada em contribuir, dentro de todas as suas possibilidades, para o progresso da nossa Escola. Esse progresso, é evidente, manifestar-se-á, sobretudo, por uma elevação e actualização constantes dos métodos de ensino nela adoptados, através dos assuntos versados e dos meios materiais indispensáveis a estes.

Por muitos ignoradas e por alguns esquecidas, as palavras de Alfredo Bensaude surgem hoje como uma chamada às realidades do ensino da Engenharia, como um apelo à inteligência, ao bom senso e à dedicação de todos os que, dentro do Instituto Superior Técnico, se encontram ou venham a encontrar-se reunidos para o desempenho dessa missão simultaneamente tão difícil e tão valorosa: a formação de engenheiros que, pela sua competência, representem valores económica e moralmente úteis para a Nação.

Dessas palavras, escritas há 25 anos mas sempre tão actuais na sua quase totalidade, iniciamos hoje a publicação das que se tornam imediatamente úteis, curvando-nos perante a memória do homem que tão bem soube definir, organizar e impulsionar a acção do Instituto Superior Técnico.»

INTRODUÇÃO

O Instituto Superior Técnico foi criado logo depois de implantada a República, pela transformação do antigo Instituto Industrial e Comercial de Lisboa.

Pouco depois da revolução de 5 de Outubro de 1910, o falecido engenheiro António Maria de Avelar requeria a sua exoneração do cargo de Director, sendo-lhe esta concedida em Dezembro do mesmo ano.

---

(1) Publicação da Imprensa Nacional de Lisboa (1922).

O antigo Instituto estava decadente; existiam bons elementos no corpo docente e entre os alunos; mas, a par destes últimos, era muito alto o número dos que nada aproveitavam com a frequência, servindo apenas para alimentar a indisciplina; o movimento revolucionário veio ainda aumentá-la além dos limites do tolerável. Numa informação apresentada ao Ministro do Fomento pelo autor destas linhas, descreviam-se, por essa época, as condições da escola nos seguintes termos: «É incontestável que ela não tem satisfeito completamente às nossas necessidades e, por isso, o Estado tem procedido a reformas sucessivas. Alguns anos depois, reconhece-se a insuficiência da última reforma, torna a remodelar-se o Instituto, e assim sucessivamente.

Não admira, pois, que os altos e baixos de fé e descrença acabassem por avolumar a suspeita injustificada de que somos fundamentalmente incapazes de criar uma escola de préstimo...

Os fracos resultados destas reformas provêm principalmente de que elas têm consistido em aumentar o número de disciplinas professadas no Instituto, deixando intactos os seus defeitos tradicionais».

Mostrava eu depois, com dados estatísticos relativos à frequência da 1.ª cadeira (álgebra, geometria e trigonometria rectilínea) comum a todos os cursos, que a deficiente preparação da maioria dos alunos era a principal causa da sua falta de aproveitamento e do mau espírito que entre eles reinava.

Estes provinham geralmente da Escola Preparatória de Rodrigues Sampaio e dos liceus (5.º ano).

«Os alunos, sem preparação suficiente para aproveitarem o ensino, acumulam-se, anos após anos, nas mesmas cadeiras, e, desmoralizados pelos sucessivos fracassos, vão constituindo o elemento pernicioso que alimenta a indisciplina».

Sobretudo, nas aulas de inglês e alemão eram frequentes os distúrbios e as explicações dos professores às vezes acompanhadas de rufos sobre as carteiras, ou de outras manifestações de indisciplina.

Tendo, pois, pedido a demissão o antigo director, cuja saúde era precária, procurava o Ministro do Fomento, Sr. Dr Manuel de Brito Camacho, entre os professores do Instituto, quem o substituisse, sendo-lhe lembrado o autor destas linhas como candidato possível para esse lugar.

O Sr. Dr. Brito Camacho, que apenas me conhecia de nome, mandou-me perguntar particularmente se desejava tal cargo. Agradeci a lembrança, mas, antes de dar uma resposta firme, mandei pedir ao Ministro, pelo mesmo emissário, o Sr. Jaime Batalha Reis, o obséquio de passar a vista por um opúsculo publicado em 1892, em que eu expusera a orientação que julgava deveria seguir-se para melhorar o ensino técnico, principalmente no antigo Instituto [1].

Como o referido opúsculo desagradasse à maioria dos professores que o leram, parecia-me, com essa resposta, ter desviado definitivamente a perspectiva de ser escolhido para o exercício de um cargo, naquela ocasião sobretudo, pouco invejável, mas que poderia seduzir-me se fôsse possível pôr em prática uma organização escolar cujo êxito me parecia certo e a ocasião propícia para a experiência, pois cuidava se ia fazer um esforço sério para melhorar a nossa instrução pública.

Tinham alegado os meus críticos que as ideias expostas no referido folheto, conquanto razoáveis em si, eram inaplicáveis entre nós por serem *eivadas de estrangeirismo*. A organização que eu recomendava em 1892 nada tinha de original, mas era com efeito inspirada pelo que vira aplicado com vantagem em escolas estrangeiras que frequentara como estudante durante oito anos.

---

[1] A. Bensaude, *Projecto de reforma do ensino tecnológico para o Instituto Industrial e Comercial de Lisboa*, parecer separado, Lisboa, 1892.

O labeu de estrangeirismo foi um dos principais argumentos que levaram a comissão de ensino, de que eu fizera parte, a rejeitar o meu projecto.

Aplicando o mesmo critério às escolas dos países mais adiantados, é claro que nenhuma escaparia a igual sentença, pois em toda a parte se tem aproveitado a experiência alheia em assuntos de instrução e educação, sendo por isso uma boa escola sempre, mais ou menos um produto internacional.

As particularidades tradicionais das nossas escolas não podem considerar-se genuinamente portuguesas, como pensavam os meus críticos; representam características de organizações escolares persistentes entre nós, mas que já desapareceram ou se modificaram nos países progressivos donde as importámos no passado, e nada provava que o processo útil noutros tempos não fosse igualmente vantajoso em 1892.

Com surpresa recebia, dias depois da minha resposta, o convite do Ministro (que lera o meu pequeno trabalho), para me encarregar da direcção da escola e proceder imediatamente ao estudo da sua remodelação, de modo que os cursos de engenharia civil e de minas da antiga Escola do Exército funcionassem no futuro Instituto, que passaria a ser uma escola técnica de grau superior. O Governo Provisório ia transformar a Escola do Exército num estabelecimento exclusivamente dedicado a estudos militares.

A minha surpresa provinha de desconhecer eu, então, a superior inteligência e a alta cultura do Ministro do Fomento, livre dos preconceitos que levavam e ainda hoje levam outros a ver nas nossas tradições académicas elementos essenciais de progresso do ensino. E desconhecia também que o Sr. Dr. Brito Camacho, depois da sua formatura, frequentara fora do país escolas onde vira aplicar processos semelhantes aos que eu preconizava.

Delineada a organização escolar (exposta na sua essência no decorrer destas notas) e discutida, ponto por ponto, com o Ministro, foi ela finalmente decretada a 23 de Maio de 1911. Desdobrava-se o antigo Instituto em duas escolas especiais, não chegando a decretar-se a organização da segunda, o Instituto Superior de Comércio, que, mais tarde, foi inspirada na do Instituto Superior Técnico.

Ao aceitar o cargo de director do Instituto (Dezembro de 1910), previa com nitidez as dificuldades de o reorganizar desligando-o quanto possível dalguns dos nossos processos tradicionais; receava que elas me obrigassem a abandonar a empresa antes de concluída, comprometendo assim os salutares e singelos princípios em que o Instituto ia ser baseado.

Não me faltava certa preparação para tentar o empreendimento, embora tivesse mais confiança na minha vontade do que na minha competência. Ensinava havia muitos anos, tinha assistido ao início do grande desenvolvimento da indústria e do ensino técnico realizado na Alemanha depois da guerra de 1870-1871, por ter frequentado duas escolas técnicas e duas universidades alemãs de 1874 a 1882; e, de volta a Portugal, continuara seguindo com interesse a orientação desse movimento pedagógico, que, gradualmente, se impôs, mais ou menos, aos países progressivos, inclusivamente à Itália, que tem tantas afinidades com Portugal.

Hoje, dez anos volvidos, pode dizer-se que a experiência realizada no Instituto deu resultados tão satisfatórios quanto o permitiram as nossas condições. Devo declarar, porém, com toda a sinceridade, que estou muito longe de atribuir a mim mesmo grande parte nesse êxito.

Com um Ministro menos inteligente e menos livre dos preconceitos da rotina do que o Sr. Dr. Brito Camacho, a criação do Instituto, em bases que conduziram a bons resultados imediatos, não teria sido possível e, uma vez aceito o projecto da sua organização, ainda pouco ou nada se teria conseguido sem a excelente colaboração dos meus ilustres colegas. Só reclamo para mim um grande quinhão na responsabilidade da escolha do corpo docente.

Nas notas que seguem, exponho as ideias directrizes que nos guiaram, descrevo o que se pretendeu realizar e até que ponto foi possível faze-lo, comento os processos empregados no Instituto, em contraposição com os tradicionais nas nossas escolas, que pusemos

de parte, e historio também algumas das dificuldades que foi preciso vencer para que a escola vingasse; será interessante conhecê-las, a quem pretenda tentar qualquer tarefa semelhante, investindo contra a rotina, pois com elas terá de medir-se mais ou menos.

Considero a redacção destas notas como o último acto da missão de que me encarregou o Governo Provisório, embora esta não esteja inteiramente cumprida. A obra não poderá considerar-se completa enquanto o Instituto não for convenientemente instalado; mas, graças, sobretudo, à colaboração dos meus colegas, conseguiu-se o mais difícil: fazer duma escola decadente e desacreditada um dos melhores estabelecimentos de ensino do País, segundo opinião de nacionais e estrangeiros competentes. Esse resultado constitui a demonstração experimental da utilidade dos processos adoptados no Instituto, cuja descrição poderá ser de alguma utilidade imediata ou remota para as nossas escolas. É também esta última consideração que me levou a redigir estas notas, cuja doutrina é da minha exclusiva responsabilidade.

Duas circunstâncias podem aniquilar o Instituto: a primeira e talvez a mais de recear é a facilidade (não ouso escrever a inconsciência) com que se decretam reformas, comprometendo quase sempre os resultados adquiridos. A segunda reside nas dificuldades financeiras do país; a actual depreciação da moeda tornará impossível a vida normal da escola, se as suas receitas não forem consideràvelmente aumentadas.

Se, por infelicidade, essas ou outras circunstâncias determinarem a ruína do Instituto ou do espírito que nele domina, ainda a experiência não terá sido inútil; preparou ele para a vida profissional um número elevado de bons discípulos e mostrou ao mesmo tempo, pràticamente, como é fácil conseguir tal resultado quando, ao organizar e conduzir a escola, se põe de parte qualquer outra preocupação que não seja o progresso do ensino,

É com pesar que abandono a direcção do Instituto, o que faço não só por considerações pessoais, alheias aos serviços da escola, que a isso me obrigam, mas também por temer que, nas condições actuais, o Instituto degenere sem que esteja nas nossas mãos evitá-lo, não querendo, nesse caso, presidir à ruína da obra cuja edificação foi, durante anos, a minha preocupação quase exclusiva; além disso, também porque os cuidados da direcção do Instituto, que é uma escola bastante complexa, juntamente com os do ensino, são absorventes em excesso para um professor no fim da sua carreira e na idade em que começa a sentir-se o peso dos anos.

Lisboa, Abril de 1921.

PARTE I

«A instrução pública..... tem por alvo o indivíduo e a sociedade, o benefício do cidadão e a utilidade da república..... Cumpre, pois, que essa educação intelectual realize estes dois fins e que por isso seja considerada a duas luzes».

ALEXANDRE HERCULANO.

(*Opúsculos*, vol. v, 3.ª ed., p. 143)

OS ALUNOS

O Instituto Superior Técnico foi criado com o intuito de fornecer ao País engenheiros que possuam não só o saber, mas também as qualidades necessárias para que, prosperando na vida profissional, contribuam ao mesmo tempo para o nosso progresso económico.

Era essencial não perder de vista que, dadas as nossas condições, a escola deve fornecer homens competentes de preferência à indústria particular e não predominantemente aos serviços da administração pública.

Se o Instituto se limitasse a criar candidatos a empregos públicos, quando já actualmente uma percentagem muito alta de engenheiros portugueses se encontra ao serviço do Estado, viria ele aumentar ainda uma das grandes dificuldades nacionais, que reside no enorme incremento da sua burocracia.

A este perigo pode obviar a escola, em parte ao menos, ministrando aos seus alunos uma instrução imediatamente aplicável à indústria nacional, o que cria a *procura* destes por parte dos nossos industriais, e desenvolvendo nos alunos aspirações sadias pela acção educativa que os próprios métodos de ensino e a organização escolar sobre eles exerçam.

Quanto melhor e mais fàcilmente aplicável a instrução ministrada, tanto maior será a tendência do aluno para tentar a conquista duma situação na vida pelo próprio esforço, se, à instrução conveniente, aliar as indispensáveis qualidades morais, avultando entre estas a posse de uma vontade disciplinada.

À escola compete, pois, dotar também os seus alunos com os hábitos essenciais para o êxito na vida profissional. Tanto as virtudes como os vícios são hábitos, e toda a nossa vida é um feixe de hábitos, organizados sistemàticamente, que se adquirem pela repetição.

A primeira circunstância a considerar, ao criar-se o Instituto, foi a qualidade da matéria prima *aluno;* do seu modo de ser depende a escolha dos métodos destinados a tirar o melhor proveito, no sentido indicado, das suas disposições naturais, assim como a eliminar ou atenuar os seus defeitos para o adaptar às nossas necessidades e realizar o nosso programa.

* * *

Há quem explique os fracos resultados obtidos em algumas das nossas escolas, como consequência da má qualidade dos alunos portugueses; é cómoda explicação para quem deseje alijar a parte de responsabilidade que possa caber-lhe em tais fracassos e que só poderia tornar-se aceitável se as referidas escolas fossem perfeitas em todo o sentido.

Alunos excelentes são raros em toda a parte; pois, se assim não fôsse, tornar-se-iam os educadores mais ou menos inúteis. A bondade do aluno depende, naturalmente, das suas qualidades inatas, das condições do meio ambiente que sobre ele actuaram e da bondade dos educadores que o dirigiram desde a infância, entrando nesta categoria e em primeira linha seus próprios pais.

A experiência de muitos anos permite-me asseverar que o estudante português é, em média, tão bom como o dos diversos países mais cultos da Europa [1], tendo no entanto, como todos os outros, qualidades e defeitos que lhe são mais ou menos peculiares. O aluno português é o inverso do inglês, por exemplo; se este é, quase sempre, menos vivo de inteligência, tem, ao contrário do nosso, muito mais energia física e uma vontade acentuada de conquistar a independência pelo próprio esforço. O mesmo se pode dizer do rapaz americano, possuído do desejo de se instruir não tanto pelo amor da ciência, mas porque esta significa para ele dólares e fortuna [2]. Afora a maior viveza intelectual, que é apanágio das raças do sul, as características diferenciais do nosso aluno são devidas, sobretudo, às condições em que foi criado.

Em Inglaterra cuida-se há muito, com o maior desvelo, do vigor físico da mocidade escolar, mais, às vezes, que da sua instrução. Pensa-se que o vigor físico, o ser «um *bom animal,* é a primeira condição de êxito do homem, e o ser a nação formada por gente robusta, o primeiro elemento de prosperidade colectiva». (H. Spencer). E tudo se faz em

---

[1] Esta é também a opinião dos professores estrangeiros do Instituto, respectivamente antigos discípulos de excelentes escolas de França, Suíça, Bélgica e Itália.

[2] Fraser, apud Firmin Roz, *L'énergie américaine,* Paris 1910, 5.ª ed., p. 120.

Inglaterra, como nos outros países adiantados, para que, pelo menos a mocidade das escolas seja realmente forte e sadia.

Entre nós não se procede assim; tudo conspira contra o vigor físico do aluno e pouco ou nada se tem feito para o defender.

Os nossos edifícios escolares, ao contrário dos ingleses, americanos e outros, são geralmente insalubres e o candidato à matrícula é apenas obrigado a apresntar a certidão de ter sido vacinado contra a variola, como se fosse essa a única doença que faz perigar a vida dos nossos filhos. Não se presta, por exemplo, a mínima atenção à avariose e à tuberculose, doenças cada vez mais vulgares e terríveis pelas suas consequências para o futuro da população portuguesa, sendo certo no entanto que é mais urgente ainda evitar a sua degenerescência do que instruí-la e educá-la [1].

«Um organismo vigoroso merece sempre ser conservado, embora não possua talento algum, porque a capacidade intelectual poderá desenvolver-se indefinidamente na sua descendência; ao passo que uma inteligência culta num indivíduo fraco pouco valor tem, não só porque a sua descendência se extingue em uma ou duas gerações, mas também porque, sendo a luta pela vida cada vez mais intensa, a probabilidade da vitória é muito maior para o homem que dispõe de robustez».

«Sem gente robusta, nem a agricultura, nem as artes, nem as ciências, poderão dar passo, e esta só se pode formar por meio da educação física dirigida pelos ditames da natureza».

Só recentemente se vão introduzindo o desporto atlético e os jogos ao ar livre, admiráveis para desenvolver o vigor, a energia e a disciplina, tendo-se estes generalizado um pouco, mais por iniciativa da própria mocidade, do que pela intervenção dos seus educadores.

O Instituto deveria possuir para uso dos seus alunos, pelo menos um campo destinado a jogos ao ar livre..., um balneário, uma sala de gimnástica, uma cantina que lhe fornecesse, por preço módico, ligeiras refeições durante o dia, assim como umas salas onde pudessem estudar ou simplesmente divertir-se honestamente e estabelecer entre si relações de intimidade, preciosas para as suas futuras carreiras, desviando-os ao mesmo tempo de más companhias e de mil perigos.

As actuais instalações do Instituto são tão miseráveis e acanhadas, que nada do que fica dito se lhes pode proporcionar, embora no plano do novo edifício tais instalações existam em projecto.

Ao ver a impossibilidade de dotar-se a escola desde a sua fundação com estes benefícios, pus-me em comunicação com a filial da Y. M. C. A. (Youngmen's Christian Association), logo que esta se organizou em Coimbra, procurando induzir o Sr. M. Clark, seu director, a criar em Lisboa outra sucursal para estudantes. O Sr. M. Clarck, depois de ter referido o nosso desejo à Direcção Central em Nova-York, prometeu estudar o assunto, vindo depois a falecer sem poder cumprir a sua promessa. Consta-me, porém, que a benemérita associação americana estuda as possibilidades de criar uma filial nesta cidade.

O único benifício que, no Instituto, conseguimos introduzir, não a favor da cultura física, mas simplesmente da saúde dos seus alunos, foi o estabelecimento da inspecção sanitária antes da matrícula, a fim de excluir os candidatos fìsicamente incapazes de exercer a profissão de engenheiros, assim como os atacados por doenças susceptíveis de

---

[1] «É, com efeito, preciso ter estado, como eu, em contacto durante anos com as crianças que frequentam as nossas escolas primárias e secundárias, para fazer uma ideia clara do estado de miséria fisiológica em que elas se encontram e poder avaliar o perigo que nos ameaça, se não pensarmos a sério na maneira de o conjurar». S. C. da Costa Sacadura, *Protecção à primeira infância*, p. 8, Lisboa 1912.

transmitir-se por contágio aos seus camaradas, medida esta cuja necessidade a experiência fizera sentir.

Esta disposição, decretada a pedido do Instituto, foi posta em prática pela primeira vez no ano lectivo de 1919-1920; ainda que útil, está longe de ser suficiente, mesmo como medida preventiva. O combate nas escolas contra a sífilis, por exemplo, é, na opinião dos competentes, assunto de maior urgência; neste sentido deveria, segundo penso, organizar-se junto da escola uma consulta gratuita para os alunos em que a doença tenha passado à fase intransmissível, sem deixar por isso de ser uma ameaça para a vida do seu portador e para o vigor da sua descendência. Deveria distribuir-se anualmente a cada aluno um panfleto no qual se resumissem os perigos das doenças venéreas e da sífilis, contendo igualmente indicações sobre a sua profilaxia; e cousa semelhante se poderia fazer relativamente à tuberculose.

Mas isto e o mais que no mesmo sentido se poderia tentar, guiando-nos pelo conselho dos profissionais, e pelo exemplo dos países escandinavos principalmente, importaria despesa não prevista na dotação do Instituto, que bem longe está de bastar sequer para os gastos mais urgentes da instrução.

A cultura física bem orientada começa, no entanto, a contar alguns amadores entre os nossos estudantes, como o prova, por exemplo, o volume n.º 16 da colecção «Os Livros do Povo», intitulado *Escotismo* (Lisboa 1917), redigido por um aluno do Instituto [1].

Os nossos estudantes estão certamente preparados para aceitar com entusiasmo tudo o que, nesse sentido, se lhes ofereça.

É no entanto bem urgente que os nossos pedagogos pensem também na educação física da mocidade portuguesa, que deveria começar no seio da família, continuando-se depois nas escolas, onde nada ou quase nada se tem feito nesse sentido. Na Suíça e noutros países adiantados não existe escola primária ou secundária, por mais modesta que seja, sem ter nos seus programas horas certas para exercícios de cultura física, dirigidos por gente competente. Enquanto não nos inspirarmos em tais exemplos, o nosso aluno terá em média menor vigor físico do que os seus colegas desses países. Essa inferioridade, que se reflecte nos estudos e depois na vida, de muitas maneiras, cessaria provàvelmente no espaço de uma ou duas gerações.

Até sob o ponto de vista estritamente económico, o País teria todo o interesse em que o capital empregado na manutenção das escolas tivesse o seu juro garantido pelo vigor dos estudantes.

* * *

A aspiração à independência pelo próprio esforço é um elemento moral de maior valia para o êxito na vida, mas, infelizmente, aquele de que o nosso aluno mais costuma carecer. Essa falta parece igualmente devida às condições do nosso ambiente.

Ninguém pode aspirar à conquista da independência pelo próprio esforço, sem ter a convicção de que esse esforço pode realmente conduzi-lo à independência; para que tal convicção exista é necessário que se realizem duas condições: ter-se confiança no saber adquirido, e a certeza de que o homem sabedor encontra entre nós, em troca do seu esforço, a retribuição proporcional aos serviços que presta à sociedade.

Ora, nenhuma destas duas condições se tem realizado correntemente entre nós; nem tem havido grande procura de gente realmente competente, nem um rapaz que inicia a

---

[1] A excelente obrazinha expõe a acção benéfica física e moral dos exercícios ao ar livre, e é da autoria do Sr. Alexandre Borges, excelente aluno do curso de minas.

vida em Portugal tem tido, em geral, grande confiança no que lhe ensinaram na escola, como arma para a conquista do seu bem-estar e da consideração pública, que é, sobretudo para os novos, um estímulo ainda maior que o pão cotidiano. Sendo assim, é manifesto que o nosso aluno, mesmo o mais estudioso, não pode ter tanta fé nas próprias forças, como o seu colega inglês, por exemplo, que vive num país onde o competente enérgico tem geralmente a sua subsistência garantida.

Por isso, a competência profissional, que em Inglaterra, por exemplo, tem infinitamente mais importância que o diploma da escola, passa aqui para o segundo plano, havendo entre nós proporcionalmente talvez tantos incompetentes que vivem só à custa de previlégios conferidos pela carta de curso, como em Inglaterra haverá competentes sem diploma, vivendo à custa do seu saber.

Em Portugal não tem havido sempre em que empregar utilmente muitos dos diplomados que as nossas escolas põem cada ano em circulação, porque a instrução que lhes tem sido ministrada não será sempre a que mais convém; doutro modo as nossas riquezas naturais e as das nossas colónias teriam melhor aproveitamento, e a sua exploração poderia ocupar muitos homens instruídos, mais talvez do que as nossas escolas poderiam fornecer; daí a existência dum proletariado mais ou menos intelectual, elemento perturbador do nosso equilíbrio social (1).

Para alimentar os diplomados, que *numa sociedade bem equilibrada deveriam contribuir para o bem-estar da colectividade,* continua a empregar-se, com ligeiras alterações, um dos processos que conduziram o País à ruína nos tempos da monarquia absoluta. O rei tinha o dever moral de alimentar os seus fidalgos; a fórmula moderna, conducente ao mesmo resultado, é outra; inventou-se a teoria corrente de que o Estado, facultando a toda a gente a instrução superior quase de graça, tem ainda a obrigação moral de dar *garantias* aos diplomados, ou seja, de alimentar à custa da colectividade, por meio de empregos públicos, aqueles que à escola vão buscar a carta dum curso superior ao alcance de quase todos.

Ao diploma de nobreza, outorgado pela munificência régia, andavam ligados certos proventos que punham o agraciado ao abrigo da luta pela vida.

No parasitismo moderno substituíu-se ao diploma de nobreza a carta de curso, e, à vontade do rei, a do influente político sem consciência, que desbarata os recursos da nação criando lugares na administraçãe pública para os seus apaniguados (1).

Evidentemente o aluno português, cuja noção da vida é elaborada com a experiência dos factos observados, não pode aceitar como evidente o axioma inglês ou americano: o bem-estar futuro dum rapaz depende exclusivamente do seu esforço e da sua competência.

Pelo menos, nas carreiras oficiais, tão apetecidas, a experiência mostra-lhe, pelo contrário, que, seja ou não competente e enérgico, o seu bem-estar futuro não depende tanto dos seus méritos como da protecção de que dispõe.

O aluno português não tem grande fé no próprio esforço, porque a observação diária lhe tem mostrado que a subserviência e a consciência acomodatícia são, muitas vezes, as melhores armas para a conquista do bem-estar. Na luta pela vida as qualidades inúteis atrofiam-se em favor das necessárias para alcançar a vitória.

A instrução deficiente, combinada com o nepotismo político, tende a corromper o

---

(1) «A consequência deste estado de cultura intelectual, falsa, inaplicável e violenta, é que as muitas esperanças mentidas, as muitas ambições recalcadas, todos os anos arremessam para a arena dos bandos civis centenares de corações generosos, que, insofridos ante um prospecto de miséria, se arrojam às lides políticas, para perecerem ou prearem no cadáver defecado do património da república». Alexandre Herculano, *Opúsculos*, t. VIII, 3.ª ed., p. 73.

(2) «... la production directe des biens économiques est souvent fort pénible; l'appropriation de ces biens, produits par autrui, est parfois assez facile. Cette facilité a été grandement accrue depuis qu'on a imaginé d'effectuer la spoliation non contre la loi mais au moyen de la loi». Vilfredo Pareto, *Les systèmes socialistes*, Paris 1902, vol. I, p. 116

carácter da mocidade, atrofiando-lhe a ambição, normal noutras circunstâncias de conquistar uma situação na vida pelo próprio esforço.

A falta frequente de aspirações sadias do nosso estudante, a sua deficiência moral mais vulgar, é pois determinada, em grande parte ao menos, pelas nossas condições sociais.

* * *

O nosso aluno normal possui uma rapidez de compreensão igual e, às vezes, talvez superior à dos rapazes que frequentam as escolas da Europa central. É esta a maior das suas qualidades inatas; as que deveriam ser desenvolvidas pela educação faltam-lhe, porém, muitas vezes. O seu poder de assimilação é quási sempre muito inferior ao dos estudantes cuja educação foi cuidada desde a infância. Pode dizer-se até que, entre os nossos estudantes, a faculdade de assimilação costuma ser inversamente proporcional à faculdade de compreensão; quanto mais fàcilmente compreendem, mais fàcilmente esquecem. É que compreender, e fixar o que se compreende, são cousas diversas.

Este deficiente poder de assimilação tornaria duvidosa a utilidade das nossas escolas, se resultasse dum defeito da mentalidade portuguesa; provém, porém, apenas do ensino verbalista de que o aluno foi vítima, quase sempre, desde a infância.

O seu saber foi-lhe transmitido sob a forma de símbolos acústicos ou ópticos, a que não associa ideias precisas, e por isso o conteúdo da sua consciência é fatalmente formado por um pequeno núcleo de experiência, envolvido em névoas verbais.

Entre nós tem-se estudado, em geral, mais para o exame do que para saber; podendo-se quase sempre, sem inconveniente imediato, esquecer tudo quanto se aprendeu, passada que seja essa formalidade. E é isso realmente o que acontece a muitos.

Os exames vão-se fazendo à medida que se vão frequentando as várias cadeiras dum curso; terminado que seja o exame da última cadeira, pouco importa que nada se saiba já das matérias estudadas nas precedentes, pois está-se de posse do diploma do referido curso, que é, afinal, o principal objectivo que o nosso aluno costuma ter em vista. *O esforço do aluno para reter o que aprendeu é pequeno, porque esse esforço tem sido quase inútil para alcançar o diploma.*

Além disso, a assimilação completa torna-se difícil ou impossível, ainda que o aluno para tal fizesse esforços, visto o modo como o ensino é frequentemente ministrado [1].

Não admira pois que, tendo sido submetido a este regime, que apenas começa a ser substituído agora numa ou noutra disciplina, numa ou noutra escola, o aluno não tenha desenvolvido o hábito de assimilar o que lhe ensinam, e conserve apenas impressões vagas e pouco duradoras do que estudou.

A experiência do Instituto mostra que um regime escolar mais sadio, em que é condição essencial de êxito reter o que se compreendeu, desenvolve ràpidamente no nosso aluno o poder de assimilação, colocando-o, neste ponto, provàvelmente a par dos seus camaradas estrangeiros.

---

[1] Dois exemplos.

1.º Um aluno muito inteligente, de 14 anos, duma escola oficial de Lisboa, recitou-nos com desembaraço os *nomes* das partes constituintes do corpo da abelha; apresentando-se-lhe o próprio insecto, não sabia distingui-las.

2.º Um aluno, aprovado em física em duas das nossas escolas superiores, explicava razoàvelmente o fenómeno da interferência da luz em lâminas delgadas; mas, em presença do próprio fenómeno, não o reconheceu.

Quando se citam casos destes, é costume explicá-los como consequência da falta de dinheiro para aquisição do material de demonstração nas escolas. Esta desculpa não pode alegar-se nos casos citados; nem faltam abelhas em Lisboa ao alcance de todos, nem estilhas de vidraça por toda a parte.

* * *

A selecção escolar, segundo as nossas nossas tradições, tem consequências nefastas, não só para o saber, mas também para o carácter da mocidade académica. Ela efectua-se durante o quarto de hora de exame, muitas vezes a favor dos espertos, pouco escrupulosos, que estudam à última hora como quem aprende um papel de comédia, que é inútil reter depois de terminada a representação.

Dos honestos e trabalhadores, nem todos ousam afrontar o exame sem a consciência de que sabem, consciência por vezes difícil de adquirir, dada a maneira como os ensinaram; e, se afrontam o exame, sendo menos desembaraçados do que os primeiros, são, às vezes, classificados inferiormente.

Todos os que convivem com estudantes ouviram contar as façanhas dalguns que, estudando à última hora, obtiveram melhores notas de exame do que outros menos atrevidos, mas que conheciam melhor a matéria por terem estudado mais conscienciosamente.

Os casos frequentes de êxito dos audazes sem escrúpulos levaram até a espalhar-se entre a mocidade académica a noção que é numa espécie de charlatanismo bem falante, tantas vezes favorecido nos exames, que consiste o verdadeiro mérito. Os alunos mais honestos e aplicados, talvez menos vivos mas tantas vezes mais profundos, únicos de quem haveria a esperar uma acção persistente nos domínios da ciência ou em quaisquer outros, são relegados para uma categoria inferior, sendo às vezes, alvo do desprezo dos seus colegas.

O nosso sistema tradicional coloca com frequência em segunda linha os que trabalham para saber, e, em primeira, os preguiçosos espertos que fingem de sábios(1). Tal selecção, continuada persistentemente há tantos anos, não podia deixar de ter efeitos funestos sobre as concepções morais de muitos dos nossos rapazes. Na sua inexperiência, ou melhor, em virtude da experiência adquirida nas escolas, aceitam eles, como princípio geral de aplicação cotidiana, a noção de que, para prosperar na vida, é preciso não ter escrúpulos e saber fingir.

O mesmo processo de selecção é também o que tem sido aplicado no preenchimento de muitas vagas do professorado, nos concursos documentais ou nos torneios oratórios a que se tem dado o nome de *concursos de provas públicas*, e em que as notas obtidas nos exames feitos da maneira indicada, juntamente com a esperteza dialéctica, entram como elementos de valor no apuramento do candidato.

Basta meditar um pouco sobre as consequências directas ou indirectas de tais processos de selecção, para reconhecer, por exemplo, uma das causas da nossa diminuta actividade científica, tantas vezes substituída pela retórica.

As nossas tradicionais formas de selecção escolar, aplicadas com igual persistência a qualquer outro ambiente social, conduziriam aos mesmos resultados, senão a piores. Eliminadas estas, uma percentagem elevada dos nossos rapazes manifesta qualidades que se desenvolvem quase sempre ràpidamente, transformando-se em homens tão prestantes como os de qualquer outra nação europeia das mais cultas. É isto que a experiência do Instituto felizmente tem provado.

---

(1) «Tem-se em Lisboa, a respeito de trabalho intelectual, a estranha opinião de que só trabalha quem não tem talento... Segundo essa convicção essencialmente nacional, a ociosidade é a mãe do génio». R. Ortigão e Eça de Queiroz, *As Farpas*, número de Setembro de 1871, p. 18 (1.ª edição).

APROVEITAMENTO DA ENERGIA ATÓMICA

POR ARMANDO GIBERT

Bolseiro do Instituto para a Alta Cultura
Zurich, Março 1946

C. D. 539.15

Vamos dividir esta exposição, aliás sumária, em 6 partes, a saber: *Introdução* em que recordaremos ràpidamente as principais aquisições da Física cujo conjunto serviu de base de partida para o ataque do problema do aproveitamento da energia atómica (mais precisamente, da energia nuclear); *Cisão do urânio,* a respeito da qual indicaremos os principais resultados conhecidos em 1940; *Separação do* U^{235}, em que resumiremos alguns dos métodos ensaiados com o fim de conseguir um enriquecimento industrial em U^{235}: *Máquina atómica* com algumas indicações sobre a 1.ª forma (e a mais interessante) em que foi aproveitada a energia atómica e na qual nos referiremos também à preparação do plutónio; *Bomba atómica,* e *Perspectivas de futuro.*

1. INTRODUÇÃO

A realização efectiva, em Chicago, em 2 de Dezembro de 1942, da 1.ª máquina atómica, consagrando a descoberta do aproveitamento da energia atómica, constitui uma das mais brilhantes vitórias do trabalho do homem, e é sem exagero que alguém poude dizer que se marcava assim o início de uma nova era. Seria esta *a era do átomo...*

Não se pode deixar de admirar esta extraordinária descoberta quando se pensa que foi só em 1896 que Becquerel, encontrando a radioactividade, deu a primeira contribuição directa para o estabelecimento dos seus alicerces. Em Dezembro de 1898 anunciavam os esposos Curie a descoberta do Rádio, em Dezembro de 1942 era posta a marchar a 1.ª máquina atómica! Em 44 anos de trabalho, de trabalho realizado com métodos científicos, guiados pelas leis da moral científica, alguns milhares de homens resolveram completamente um dos mais importantes e árduos problemas que o homem se pôs a si próprio. Como diz o Prof. Lanvegin* «Cette découverte aura peut-être pour l'avenir de la civilisation une importance comparable à celle qui permit aux hommes de maîtriser la puissance du feu».

Massa e energia.

Poucos anos depois da descoberta da radioactividade, em 1905, já Einstein enunciava o seu princípio de equivalência que punha implìcitamente o problema de que nos ocupamos. Com efeito, como consequência da teoria da relatividade, Einstein concluia que toda a *massa* m possui uma *energia própria,* E, dada por

$$E = mc^2 ,$$

em que c é a velocidade da luz no vácuo, e esta equivalência realizava a fusão dos princípios de conservação da energia e da massa. Poderia então perguntar-se: serão possíveis a transformação da energia em massa (materialização da energia) e a transformação inversa (desmaterialização da matéria)?

A demonstração concreta destas transformações não tardou. A materialização da energia foi verificada em 1933 por vários autores sob a forma da chamada *produção de pares:* um raio gama (fotão) desaparece

* — De «La Pensée», n.º 4, Paris, 1945.

e, em lugar dele, formam-se dois electrões, um positivo e o outro negativo, com energias cinéticas cuja soma é igual à energia do fotão aniquilado diminuída da soma das energias *equivalentes* às suas massas.

Reacções Nucleares

A desmaterialização da matéria já era conhecida anteriormente (1932), ressaltando do exame cuidadoso do que se passa nas reacções nucleares. A primeira reacção nuclear, a desintegração do azoto por partículas alfa, foi descoberta por Rutherford em 1919. Pode resumir-se pela «equação»

$$He_2^4 + N_7^{14} \rightarrow O_8^{17} + H_1^1 \quad .$$

Que significado atribuir a estes símbolos e a esta «equação»?

Os símbolos em si representam, como na Química, elementos, mas aqui referem-se aos «núcleos» e não aos átomos.

Os índices que os marcam representam: os inferiores, números de protões, os superiores, números totais de protões e neutrões do núcleo respectivo.

Por exemplo N_7^{14} quere dizer que se trata do «isótopo» do azoto cujo núcleo é formado por 7 protões e por 7 neutrões ($7 + 7 = 14$), etc.

Quanto à seta serve para recordar, como já se fazia na Química, que para certas grandezas (a energia por exemplo) aquele esquema não é pròpriamente uma equação.

Finalmente notaremos ainda que, nestas equações, são constantes, à esquerda e à direita, as somas dos índices que ocupam as mesmas posições (números totais de protões e neutrões ou números de protões). Assim, repare-se que $4 + 14 = 17 + 1$ e $2 + 7 = 8 + 1$.

Adiante aliás justificamos melhor este simbolismo.

Em 1932, Cokcroft e Walton conseguiram provocar a desintegração do lítio por protões acelerados artificialmente, segundo a reacção.

$$Li_3^7 + H_1^1 \rightarrow He_2^4 + He_2^4 \quad .$$

Determinações rigorosas das energias das partículas e a utilização dos valores precisos das massas isotópicas, determinadas por Aston e outros desde 1919 (e em particular desde 1927) puderam conduzir à convicção que os princípios da conservação da massa e da energia deviam ser fundidos num único, de acordo com as conclusões de Einstein.

Balanço Energético

Por outro lado, a descoberta do neutrão em 1932 levou a imaginar os núcleos constituídos por neutrões e protões. Um núcleo atómico dum elemento com o símbolo químico A e o número atómico Z, passou então a ser representado por A_Z^{Z+N}, em que N é o número de neutrões do núcleo. (Como é bem sabido, o número atómico Z representa o número de electrões extranucleares). Ora, como o neutrão não possui carga eléctrica e o átomo é elèctricamente neutro, segue-se que o núcleo deve conter precisamente Z protões.

Numa tal hipótese, consideremos um núcleo, por exemplo A_Z^{Z+N}.

Se o núcleo *existe* é porque existem ligações entre as partículas que o constituem, isto é, porque existe uma energia de ligação que mantém a sua coesão. Como explicar o aparecimento de tal energia? Essa explicação encontra-se no princípio de equivalência de Einstein, e do seguinte modo. Representemos por m_P a massa dum protão em repouso e por m_N a dum neutrão em repouso. Então a massa atómica A do núcleo A_Z^{Z+N} deveria ser $Z \cdot m_P + N \cdot m_N$ para respeitar o princípio de conservação da massa. Ora verifica-se que na realidade, para os núcleos existentes (mesmo instáveis), se tem

$$A < Z \cdot m_P + N \cdot m_N$$

isto é (pelo menos tudo se passa como se assim fosse, e é o que basta): as partículas que constituem um núcleo perdem parte da sua massa no acto da formação do núcleo, e é então lícito supor que essa massa «desaparecida» forneceu a energia necessária para o estabelecimento da coesão nuclear. Uma tal suposição pode ser fàcilmente submetida ao controle experimental (e exclusivamente por isso ela se torna cientìficamente

admissível) fazendo o *balanço energético* duma reacção nuclear cujos componentes tenham massas isotópicas bem conhecidas.

Para compreendermos imediatamente o que é o balanço energético duma reacção nuclear bastará um exemplo.

Seja a desintegração do lítio, atrás apontada

$$Li_3^7 + H_1^1 \rightarrow He_2^4 + He_2^4 \quad .$$

Neste simbolismo, isto significa que um núcleo de lítio (Li_3^7), bombardeado com protões (H_1^1), se desintegra dando origem a duas partículas alfa, ou núcleos de hélio (He_2^4).

Podemos supor, inicialmente, os núcleos de lítio em repouso, mas tanto os protões como os núcleos do hélio intervêm animados de energia cinética. Fazer o balanço energético é comparar não só as massas, mas também as energias, dos núcleos da esquerda com as dos da direita. (Presentemente, a confiança na hipótese acima apontada é tão grande que muitas massas isotópicas se têm determinado a partir do estudo de reacções nucleares convenientes).

Vejamos agora o que a reacção apontada nos ensina a este respeito. A massa atómica do Li_3^7 é 7,018163 e a do protão é 1,008131. Por outro lado, a massa atómica do He_2^4 é 4,003860. A diferença das massas entre os dois membros é pois 0,018574 U. M. (esta unidade é a 16.ª parte da massa do átomo neutro, 0^{16}, de oxigénio e é igual a $1{,}660.10^{-24}$ g). As energias medidas experimentalmente, do protão por um lado, das duas partículas alfa por outro lado, apresentam uma diferença de 16,95 MeV (o electrão-volt, eV, é uma unidade de energia, e é a energia adquirida por um electrão quando sofre a queda de potencial de 1 volt. $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1{,}60.10^{-6}$ ergs.). Se a hipótese atrás feita é justa deve verificar-se, entre as duas diferenças referidas, o princípio de equivalência de Einstein, isto é, deve ter-se $0{,}018474.c^2 = 16.95$, e é o que se reconhece, exprimindo c em unidades apropriadas. De facto, obtém-se assim para mc^2 o valor de 17,2 MeV, em excelente acordo, dentro dos erros experimentais, com a diferença das energias observadas.

Energia de 1 grama

A interpretação, que acabamos de dar, da origem da energia de ligação dos núcleos, uma vez confirmada experimentalmente (por um grande número de observações independentes e concordantes), conduziu naturalmente a que se puzesse então, com toda a clareza, o problema do aproveitamento da energia atómica, isto é, mais pròpriamente, da energia que cada átomo encerra na sua própria massa. Esta energia é imensa, e dela oferece-nos a natureza uma reserva verdadeiramente inesgotável. Assim cada grama de matéria *equivale* a uma energia de $8{,}97.10^{20}$ ergs = 25 milhões de quilowatts-horas. Compare-se, por exemplo, com a energia total que a série de barragens da célebre T. V. A. (Tennesse Valley Authority) nos Estados Unidos da América do Norte é capaz de fornecer *por hora* no seu conjunto: em números redondos 5.700 milhões de kW, isto é, bastariam 228 g de matéria, inteiramente convertidos em energia, para produzir a mesma energia. Em mil anos bastariam 2.000 toneladas para assegurar este *ritmo* de produção e as mesmas 2.000 toneladas empregadas num só ano produziriam uma energia mil vezes maior.

O problema deste aproveitamento *integral* da energia ainda não está provàvelmente resolvido. O que se resolveu foi o aproveitamento parcial da energia libertada em certas reacções nucleares que se dão com perda da massa; desde a descoberta da 1.ª reacção nuclear já se sabia que esta energia existe. Vejamos agora algumas dificuldades que se opunham à sua utilização.

Principais obstáculos

Em primeiro lugar, uma reacção nuclear é um fenómeno nuclear *individual*, isto é, em que intervém efectivamente um único núcleo. A energia libertada numa tal reacção é pois necessàriamente pequeníssima. A do lítio por exemplo, que é das maiores, é ainda apenas de 17 MeV, isto é cerca de 0,65 milionésimos de caloria. Para ter uma caloria, são pois precisas mais de 1 milhão de reacções destas. Felizmente

também em pequenos volumes existem muitos milhões de núcleos e assim num milionésimo de milímetro cúbico encontram-se cerca de 50 mil milhões de núcleos. Em segundo lugar, uma reacção nuclear é um fenómeno *raro*. De facto, o grande número atrás apontado é muito menos eficiente do que se poderia pensar em virtude das dimensões dos núcleos. Em média, um núcleo tem um raio de 10^{-12} cm, um átomo um raio de 10^{-8} cm e uma molécula de oxigénio cerca de 10^{-5} cm. Quere dizer, se as cidades de Madrid e Lisboa fossem os dois átomos de uma molécula (e já seriam átomos muito próximos), o núcleo de cada um desses átomos poderia ser constituído por uma bola de bilhar, uma em Lisboa, outra em Madrid. Ora provocar uma reacção nuclear é, nesta imagem, atingir uma dessas bolas de bilhar com uma outra bola de bilhar atirada, por exemplo, da Lua!! Todos compreenderão que a possibilidade de acertar não é grande. Deste modo, para provocar ao mesmo tempo um grande número de reacções nucleares, capazes de produzirem uma energia elevada, é indispensável dispor de números elevadíssimos dos agentes provocadores das reacções. Em terceiro lugar, o problema é ainda agravado pela circunstância de todos os núcleos serem partículas carregadas de electricidade positiva. Então, quando o núcleo-projéctil se aproxima do núcleo-alvo, a força repulsiva de Coulomb tende a afastá-los. É para combater esta interacção de Coulomb que se procura sempre comunicar aos núcleos-projécteis uma elevada aceleração. Esta consegue-se fazendo-lhes sofrer grandes quedas de potencial (da ordem do milhão de volts) ou um grande número de pequenas quedas aditivas (atingindo-se então dezenas de milhões de volts, nos ciclotrões por exemplo). Assim certas possibilidades de desenvolvimento da Física Nuclear têm estado ligadas a aperfeiçoamentos das técnicas da alta-tensão, da alta-frequência, etc.

No entanto, se o núcleo projéctil for um neutrão, elèctricamente neutro, o efeito negativo da interacção de Coulomb não se fará sentir. Por esta razão, o neutrão é o agente provocador de reacções nucleares preferido.

Em quarto lugar, quando se pensa no aproveitamento da energia atómica é indispensável encarar o problema do rendimento, isto é, só fará sentido (pelo menos industrialmente) pensar em aproveitar essa energia desde que ela seja maior do que a necessária para a libertar. Durante muito tempo isto apareceu como o obstáculo fundamental, pois se verificava que se dava precisamente o contrário do que seria para desejar. Mas, em 1938, a descoberta da *cisão do urânio* veio abrir novas e vastíssimas perspectivas aos físicos interessados neste problema.

Em quinto lugar, finalmente (para não alongar a exposição), quando se pensou que se poderia libertar a energia atómica, efectivamente, em quantidades apreciáveis, pôs-se imediatamente o problema de saber como dominar, como canalizar, essa energia. No tempo da «especulação» atómica (1938-1941) parecia realizável a produção *explosiva* (o que viria a dar a bomba atómica), mas receava-se que fosse pràticamente impossível a produção *condicionada* (o que viria a dar a máquina atómica). Afinal, na época da «realização» atómica (1941-1945) verificou-se que, pelo contrário, é muito mais fácil regular a geração da energia atómica do que provocar a sua libertação explosiva com eficiência. Mas não foram os físicos que ficaram desapontados com este engano das previsões...

Estas são as principais dificuldades, de princípio, do problema em geral. A elas se poderiam juntar tantíssimas outras, de caracter técnico referentes à realização efectiva de cada uma das muitas centenas de reacções nucleares presentemente conhecidas e estudadas.

2. A CISÃO DO URÂNIO

Dá-se este nome à *ruptura* do núcleo de urânio, em dois núcleos de massas aproximadamente iguais entre si, em consequência da *captura* dum neutrão.

O fenómeno da captura dos neutrões pelos núcleos foi estudado desde 1934. De facto foi então que Amaldi e Fermi descobriram o chamado «efeito parafina», que consiste no seguinte: a matéria e, em particular, as subs-

tâncias fortemente hidrogenadas, reduzem ràpidamente a valores pequenos a velocidade e, portanto, a energia cinética, dos neutrões que a atravessam; ora verifica-se que estes neutrões, chamados «lentos», são projécteis muito mais eficientes que os neutrões «rápidos», por vezes 100 a 1000 vezes mais (grosseiramente, porque se demoram mais tempo dentro da esfera de atracção dos núcleos). A descoberta da possibilidade de desacelerar neutrões deu deste modo um grande impulso às investigações realizadas com essas partículas.

Por outro lado, no mesmo ano, os esposos Joliot-Curie fizeram a importantíssima descoberta da rádioactividade artificial. Graças a esta, que se reconheceu ser propriedade da maioria dos produtos das reacções nucleares, foi possível encontrar e caracterizar 685 reacções das 1.000 que se conheciam em 1940...

Os Transuranianos

De entre os neutrões lentos merecem especial referência os neutrões «térmicos», assim chamados por terem atingido uma velocidade tal que a sua energia é igual à energia de agitação térmica das moléculas dum gás à mesma temperatura que o meio em que os neutrões foram desacelerados. São estes os neutrões mais interessantes do ponto de vista do fenómeno da captura. Neste tipo de reacção nuclear têm-se equações do tipo

$$A_Z^{Z+N} + n_0^1 \rightarrow A_Z^{Z+N+1} + \text{gama}$$

pois em geral é emitido um raio gama (n_0^1 é evidentemente o símbolo natural do neutrão — *zero* protões e *um* neutrão). Em geral, também, o núcleo produto é rádioactivo. Da própria natureza deste tipo de reacção é evidente que ela cabe na grande família dos fenómenos físicos com ressonância.

De facto, como os átomos, os núcleos também têm os seus níveis energéticos e é evidente que a reacção pode dar-se com uma enorme probabilidade se os neutrões têm a energia necessária para levar o núcleo A_Z^{Z+N} do seu nível fundamental ao núcleo A_Z^{Z+N+1} num dos seus níveis energéticos. Por outro lado, demonstra-se teòricamente e verifica-se experimentalmente que, para energias bastante menores que a energia de ressonância, a probabilidade de captura dos neutrões á proporcional a 1/v. É a afamada «lei em 1/v», que explica precisamente a razão porque os neutrões térmicos são tão favorecidos no fenómeno da captura.

Note-se agora que neste fenómeno o núcleo resultante não é, em geral, estável. Verifica-se muitas vezes que é um emissor beta, de acordo com a reacção

$$A_Z^{Z+N+1} \rightarrow e^- + A_{Z+1}^{Z+N+1}$$

(e− é o símbolo do electrão negativo, ou partícula beta).

Parece ter sido Fermi, então ainda em Roma, quem primeiro reparou que se uma tal reacção se desse com o urânio, elemento 92 da tábua periódica e «último» dos elementos conhecidos, o produto seria «um elemento 93», isto é, um *transuraniano*. Feitas as primeiras experiências, foi publicada uma nota em que era comunicada a existência de *4 períodos* diferentes nos produtos resultantes do bombardeamento, por neutrões lentos, dos três isótopos estáveis do urânio.

A Descoberta da Cisão

Imediatamente se procurou quais eram os novos elementos. Em particular, Hahn, Meitner e Strassman, em Berlim, fizeram um estudo exaustivo da questão. O resultado foi descobrirem-se *9 períodos diferentes*, o que arrastava a necessidade de admitir a formação de novos elementos (sempre por emissões beta sucessivas) até ao número 97. O esquema de filiações (isto é, de desintegrações sucessivas de elementos noutros) assim traçado era no entanto tão pouco provável, por não se enquadrar de modo algum em tantos factos conhecidos, que, apesar da segurança dos dados experimentais e da lógica aparente da sua interpretação, ninguém se dispunha a aceitar como definitiva a explicação proposta. Esta atitude dos investigadores científicos, essencial, embora corrente, explica o interesse despertado por esta questão.

O primeiro passo importante para a descoberta da verdade deve-se a Curie e Savitch, em Paris, que em 1938 encontraram um novo período e reconheceram que a nova substância tinha as propriedades do lantânio (elemento 57), mas infelizmente um escrúpulo excessivo levou-os a reconsiderar os seus primeiros resultados e um erro posterior de interpretação fez com que lhes escapasse a descoberta da cisão. Mas Hahn e Strassman retomaram as experiências de Curie e Savitch, e, através duma análise admirável de precisão, chegaram em 1939 à conclusão que um dos elementos resultantes do bombardeamento do urânio era o bário (elemento 56) que, por emissão beta, dava o lantânio de Curie e Savitch. Então havia que admitir este resultado extraordinário, a existência da reacção

$$U_{92}^{238} + n_0^1 \rightarrow Ba_{56}^{x} + Kr_{36}^{239-x} \quad .$$

Esta equação explica-se fàcilmente. Com efeito o número de protões dum núcleo é sempre o mesmo em todos os núcleos do mesmo elemento (embora se trate de isótopos diferentes). Por isso, sendo o bário o elemento 56 (com 56 protões) o outro produto da cisão do urânio só podia ser o kripton (porque é o kripton que tem $92 - 56 = 36$ protões no núcleo).

Em compensação o número de neutrões e, portanto, o número total de neutrões e protões é variável para cada elemento, conforme o isótopo considerado. Como só se sabia que entre o bário e o kripton se devia distribuir um total de 239 neutrões e protões, poz-se x (número desconhecido) para o bário e, portanto, $239 - x$ (os restantes) para o kripton.

Ora, o kripton de número de massa mais elevado, tem o número 86 e para o bário esse número é 138. A sua soma faz *apenas 224*. Nestas 224 partículas pesadas encontram-se os 92 protões do urânio, mas dos 146 neutrões deste (ou dos 143 do isótopo U^{235}) ainda *faltam* mais de 10 neutrões. Supondo-os repartidos mais ou menos proporcionalmente às massas, devemos admitir a formação de núcleos do tipo Ba_{56}^{145} e Kr_{36}^{89}, ou mesmo mais elevados ainda, que vão necessàriamente aumentar o seu Z por emissões beta sucessivas até terem atingido um estado de estabilidade. Por outro lado, a energia de ligação do urânio menos a soma das energias de ligação dos produtos de cisão dá um excesso de cerca de 250 milhões de eV!

A notícia de uma descoberta tão imprevista alvoroçou, pode dizer-se, o mundo dos físicos nos inícios de 1939. Em poucos meses tinha-se descoberto já novas reacções de cisão e explicado todos os fenómenos observados desde que Fermi começara a bombardear urânio com neutrões lentos. Foi só então que os americanos começaram a interessar-se verdadeiramente pelo assunto e a sua primeira contribuição importante deve-se a Mc Millan que descobriu um período de 23 minutos que devia ser atribuído a um U^{239} desintegrando-se num elemento 93, um verdadeiro transurâniano pois.

A teoria da cisão

Entretanto Bohr e Wheeler, guiados aliás pelas ideias de Meitner e Frisch, procuraram fazer a teoria do novo fenómeno apoiando-se no chamado modelo nuclear da gota de líquido, devido a Bohr. Neste modelo as forças de coesão são constituídas pelas forças atractivas características das partículas nucleares às quais se opõem as forças de repulsão electrostática. Como se sabe aquelas forças só actuam a distâncias muito curtas (da ordem de 10^{-13} cm) e por isso o seu efeito vai diminuindo à medida que o núcleo se torna mais pesado e, portanto, maior. Chega mesmo um momento em que a condição de equilíbrio deixa de realizar-se e se dá a ruptura ou cisão expontânea. Um cálculo grosseiro mostra que esta se pode esperar para um núcleo 100. (Na realidade, os russos descobriram que ela se dá no próprio urânio, mas com um período de cerca de 10^{15} anos). Não admira pois que a cisão se dê no urânio, quando nele penetra um neutrão.

No que diz respeito ao urânio, os resultados essencias da teoria de Bohr e Wheeler resumem-se na seguinte tabela:

Elemento	U^{234}	U^{235}	U^{238}
Percentagens	1/17000	1/140	99,3
Energia crítica de cisão (MeV).....	5,0	5,27	5,75
Excitação provocada pela captura de um neutrão (MeV)...	5,4	6,4	5,2

A primeira consequência a tirar deste quadro é que, se a teoria é justa, a cisão não é possível com neutrões lentos no U^{238} (isótopo abundante), mas apenas no isótopo raro U^{235}. De facto, Nier, com o seu novo espectrógrafo de massa, conseguiu separar uma quantidade do isótopo raro suficiente para poder concluir, quantitativamente, que era este o isótopo responsável pela cisão do urânio.

Reacções em cadeia

Mas uma questão muito importante que se punha então era a de saber, em suma, se «o fenómeno da cisão provocado por *um* neutrão não poderia ser causa da emissão de *mais de um* neutrão» ou seja, se a cisão do urânio podia ou não ser origem duma *reacção em cadeia*. Joliot e outros, em Paris, e Anderson, na América, verificaram então que, efectivamente, da cisão resultam neutrões *rápidos*, em número incerto compreendido entre 1 e 3.

Novos elementos

Como vimos, os neutrões rápidos também podiam produzir a cisão no próprio 238, mas a probabilidade de cisão no 235 era então muito menor. Como já vimos, no urânio natural os neutrões rápidos perdem energia por choques elásticos, mas para certas energias a secção de captura pelo U^{238} é muito grande. Forma-se então o elemento U^{239}, descoberto por Mc Millan, e prevê-se a possibilidade da formação de dois novos elementos, o neptúnio e o plutónio, Np_{93} e Pu_{94}, do seguinte modo

$$U_{92}^{238} + n_0^1 \rightarrow U_{92}^{239} \rightarrow Np_{93}^{239} + \acute{e}^- \quad .$$

$$Np_{93}^{239} \rightarrow Pu_{94}^{239} + e^- \quad .$$

A teoria de Bohr e Wheeler previa que o plutónio deveria ser o elemento mais favorável para a cisão com neutrões lentos. De facto, segundo essa teoria, a energia crítica no Pu seria de 4,35 MeV enquanto que a excitação provocada por um neutrão lento seria de 6,4 MeV. A diferença seria pois de 2 MeV em vez de 1,1 como no U^{235}.

Outros resultados

Por outro lado, verificada a existência de neutrões resultantes da cisão, ainda era preciso saber se eles eram expulsos no próprio momento da ruptura ou se resultariam antes da perda de massa dos fragmentos resultantes da cisão que retomariam valores normais, deste modo, em vez de o fazerem exclusivamente por emissões beta sucessivas. Para fazer esta investigação mediram-se as «vidas médias» dos neutrões emitidos na cisão e verificou-se que, além do maior número que é emitido num intervalo de tempo inferior a 10^{-3} s logo após a cisão, outros existem, em média 1 em cada 60 cisões, cuja emissão ainda se verifica muito tempo, desde 0,1 a 45 s, depois da cisão. São os chamados neutrões «atrasados», cuja enorme importância só se reconheceu mais tarde. A sua energia é da ordem de 0,5 MeV, enquanto que a dos primeiros varia de 1 a 3 MeV. Sabia-se ainda que a *captura* de neutrões não térmicos era muito pouco provável no U^{235} mas que o era muito mais no U^{238} que possui uma resonância a 25 eV (os neutrões desta energia são capturados com uma probabilidade cerca de 1000 vezes maior que totalidade dos neutrões térmicos).

Como se vê sabia-se então já bastante do fenómeno da cisão, mas as incertezas e as imprecisões eram ainda muitas.

O silêncio

Estava-se então em 1940, em plena guerra total! Como é evidente, se as reacções em cadeia eram uma realidade, era também possível imaginar o aproveitamento para fins bélicos da imensa energia que a reacção «explosiva» provocaria. E as revistas científicas deixaram de publicar artigos sobre a cisão do urânio...

3. SEPARAÇÃO DO U^{235}.

Vimos há pouco que era este o isótopo responsável da cisão. O isótopo 238, misturado com ele e capaz, como a maioria dos elementos, de absorver os neutrões, só podia servir de obstáculo ao *crescimento* duma eventual reacção em cadeia. O primeiro problema a resolver era pois o de obter U^{235} puro ou, pelo menos, urânio enriquecido em 235.

Ora em 1940 a técnica da separação de isótopos só conduzia à produção de quantidades ínfimas de elementos puros e era tanto mais delicada quanto mais pesado era o elemento considerado. Assim Nier, com o seu espectrógrafo, produzia apenas 1 micrograma de U^{235} em 16 horas.

Por supormos o assunto relativamente familiar não vamos fazer aqui mais do que um rápido resumo de dois importantes métodos típicos de separação de isótopos, o método da difusão térmica e o método espectrográfico. Dum modo geral o que caracteriza o método é o chamado factor de separação $r = (n_1'/n_2') / (n_1/n_2)$ em que os n são números de moléculas dum e doutro isótopo e em que as plicas se referem a esses números depois da separação. Tem-se sempre $r > 1$ se o enriquecimento se faz no isótopo 1.

a) *Método da difusão térmica.* Os dois factores essenciais deste método são a difusão térmica e a convecção. Com o primeiro realiza-se o enriquecimento num dos isótopos, com o segundo consegue-se a repetição do enriquecimento na *fracção* já enriquecida. No seu conjunto dispõe-se pois dum método cumulativo que pode conduzir a um factor de separação interessante. Vejamos como isto se consegue. Imaginemos uma coluna vertical cilíndrica (de vidro, por exemplo), cujo eixo está ocupado por um fio metálico que se pode aquecer eléctricamente. A parede exterior é arrefecida por fora. Posto o aparelho em marcha, as moléculas começam a difundir da zona quente para a zona fria. O fenómeno é no entanto extraordinàriamente complexo. Verifica-se que, para as substâncias *fáceis* de separar, no choque de duas moléculas de massas diferentes, a resultante transferência de quantidades de movimento se dá de preferência das leves para as pesadas. São pois estas que têm tendência a difundir mais fàcilmente e, portanto, a acumularem-se na zona fria. Essa acumulação dá-se, evidentemente, até que se estabelece um estado estacionário em virtude da difusão ordinária. Num tal estado estacionário, tem-se pois um enriquecimento no isótopo pesado junto às paredes frias e no isótopo leve em torno do fio. Mas, por outro lado, em torno do fio o gás está mais quente e tem tendência a subir, enquanto que junto às paredes tem tendência a descer. O estado estacionário era pois apenas aparente e, graças à convecção, dá-se na realidade um enriquecimento em isótopo leve na parte superior da coluna e em isótopo pesado na parte inferior. Retirando este, o gás que fica é pois mais rico em isótopo leve que o primitivo, e repetindo sucessivamente esta operação melhora-se sempre o enriquecimento.

Vejamos agora alguns dados numéricos. Para o urânio verificou-se conveniente o emprego de fluoreto, UF^6. Por outro lado, em determinada instalação o factor de enriquecimento por andar, $r - 1$, é 0,0014.

Deste modo, para ter 99 % de U^{235} seriam precisos 4.000 andares. Na realidade trabalha-se em ciclos de vários andares e assim é preciso contar no 1.º andar com um volume 100.000 vezes maior que no último. Nas instalações americanas, empregando milhares de andares e milhares de bombas de vácuo, procurava-se em geral obter um enriquecimento até 40 % em U^{235}.

Para atingir o valor final exigido, de 80 %, era então mais vantajoso prosseguir com os espectrógrafos de massa.

b) *Métodos espectrográficos.* Dum modo muito sumário, pode dizer-se que qualquer espectrógrafo de massa é um aparelho em que se recebem, sobre um detector (que pode ser a placa fotográfica), feixes de iões que, depois de acelerados por um campo eléctrico, são encurvados por um campo magnético. Os iões são produzidos, em geral, por electrões emitidos por um filamento incandescente e enviados com uma certa aceleração para a zona do aparelho em que

se encontra o gás a estudar (ionização por choque). Como é bem sabido, uma partícula electrizada de carga *e*, massa *m* e animada de velocidade *v* percorre, num campo magnético normal ao plano da sua trajectória, uma circunferência cujo raio *r* é dado pela equação $Hev = mv^2/r$ que exprime simplesmente a igualdade da força centrífuga e da força de Lorentz. Se todos os iões partem do mesmo ponto, seguirão evidentemente trajectórias iguais desde que estejam animados da mesma velocidade e tenham o mesmo e/m. Se o feixe for limitado por uma fenda à entrada do campo magnético, a sua acção sobre a chapa fotográfica será uma risca. E se todos os iões tiverem a mesma velocidade, várias riscas corresponderão a vários valores de e/m. O diagrama assim obtido, por analogia com a óptica, chama-se um espectrograma. Mas, para ter riscas muito finas, é preciso uma fenda muito estreita e é indispensável aproveitar, dos iões inicialmente formados, apenas os que tenham uma mesma velocidade. Por estas razões tem sido preocupação dominante dos técnicos da espectrografia de massa aumentar a intensidade das riscas, realizando para isso uma «focalização» das direcções e das velocidades: com a 1.ª consegue-se a utilização de feixes largos, com a 2.ª alcança-se o aproveitamento duma grande parte dos iões produzidos. Existem hoje já várias maneiras de produzir esta dupla focalização.

No entanto, Nier construiu o seu primeiro espectrógrafo em 1936, apenas com focalização das velocidades e com bons resultados. Posteriormente, o método de Nier foi aplicado em grande, com o auxílio de campos magnéticos gigantes. Para isso ensaiou-se em primeiro lugar o electro-imã de 5.000 toneladas que tinha sido realizado para o Super-Ciclotrão de Berkeley que devia dar 100 milhões de eV. Para lembrar a sua origem deram-lhe o nome de *calutrão* (California University Cyclotron). (Neste electro-imã gigante as peças polares têm cerca de 4 metros de diâmetro e a sua distância é de cerca de 180 cm). Tanto quanto é possível saber, no meio do mistério em que a ciência americana mergulhou nos últimos anos, parece que é precisamente com este calutrão que se realizou a separação industrial dos isótopos do urânio.

Uma modificação interessante do espectrógrafo de Nier parece também ter dado resultados muito apreciáveis. A ideia foi a seguinte. Os iões depois de passarem a fenda, entram num campo eléctrico acelerador (criado por duas grelhas perpendiculares à propagação dos iões), e em seguida no campo magnético. Apliquemos à 2.ª grelha uma tensão constante e à 1.ª uma tensão alternada. Modulemos com esta tensão alternada o próprio campo magnético. Num certo instante, iões das duas velocidades v_1 e v_2 (U^{235} e U^{238}, por exemplo) atingem a 1.ª grelha. São acelerados e entram no campo magnético em instantes diferentes. Os iões mais velozes são os de U^{235}, e chegam primeiro ao campo magnético. A partir deste momento este deve estar desligado durante um certo intervalo de tempo (e os iões seguem a sua trajectória em linha recta) até que começam a chegar os iões U^{238}. Então, se as coisas estão dispostas por forma a que o campo magnético seja ligado neste instante, a partir daí incurvam-se as trajectórias dos iões pesados e estes vão pois seguir para uma região diferente daquela em que se foram depositar os iões U^{235}. Consegue-se assim um factor de separação muitíssimo grande mas a produção é muito pequena por causa das intensidades limitadas de que é possível dispor.

Nos primeiros anos das investigações dos sábios americanos, ou ao serviço da América, o principal fim a atingir, sobre o qual incidiu o maior esforço, foi o da obtenção de grandes quantidades de urânio 235 puro. Acabamos de ver como se pode consegui-lo. Mas outras orientações eram possíveis, como é característico de toda a actividade científica. Entre elas, a que aparecia como imediatamente mais importante, era aquela em que se pretendia estudar a possibilidade de realizar uma «máquina atómica» empregando *urânio natural*. Vamos ver como o problema foi posto e resolvido.

4. MÁQUINA ATÓMICA

Como já tivemos ocasião de ver, no urânio natural produzem-se cisões devidas princi-

palmente à captura de neutrões térmicos (energias inferiores a 0,1 eV, ou velocidades inferiores a 4 km/s). Por outro lado, os neutrões produzidos em consequência destas cisões são neutrões rápidos de mais de 1 MeV. Como vimos, estes neutrões têm uma fraca probabilidade de captura e, em geral, vão perder a sua energia por choque elástico. Ora um cálculo muito elementar mostra que no urânio a perda de energia, em cada choque, é, quando muito, de 1/60 do seu valor inicial. O facto de ser assim tão pequena faz com que os neutrões, antes de atingirem o nível térmico, passem por pràticamente todos os valores da energia. Em particular, quase todos passarão pelo valor de 25 eV ou suas vizinhanças (cerca de 70 km/s).

Ora vimos atrás que o U^{238} possui uma ressonância para os neutrões de 25 eV de energia, isto é, tem uma enorme probabilidade de capturar estes neutrões e é por este motivo que o U^{238} perturba extraordinàriamente no urânio natural a possibilidade de cisão do U^{235}.

Quere dizer: no urânio natural não é possível uma reacção em cadeia pois os neutrões resultantes das primeiras cisões (neutrões rápidos) passam quási todos pela energia de ressonância do U^{238}, e são então capturados, *não dando lugar a novas cisões.*

O moderador

Neste sentido das investigações, a ideia genial foi a do emprego do chamado «moderador». Esta ideia deve-se em primeiro lugar à équipe francesa chefiada por Joliot-Curie e, em particular, ao seu aluno suísso Von Halban. É muito simples, como vamos ver.

É bem sabido que no choque elástico a perda de energia duma mesma partícula é, aproximadamente, proporcional ao inverso da massa da partícula chocada. Portanto, se juntarmos ao urânio um elemento de massa muito menor, com uma fraquíssima probabilidade de captura de neutrões, a perda de energia por choque elástico será, em cada choque, muito maior. E, deste modo, também será muito maior a probabilidade do neutrão «escapar» à zona crítica de energia de 25 eV. A substância capaz de realizar este efeito chama-se *moderador*. Várias substâncias podem empregar-se como moderadores. A que foi finalmente adoptada na América foi o carbono. Este deve ser extraordinàriamente puro e a resolução deste difícil problema deve-se à competência e à dedicação dos químicos a quem foi confiado.

A regulação

Prevê-se deste modo a possibilidade de reacções em cadeia no próprio urânio natural mas, antes de passar à realização, tornava-se indispensável imaginar um dispositivo capaz de controlar a «propagação» de reacções em cadeia, isto é, capaz de *evitar* a reacção explosiva.

Para isso adopta-se, na solução americana da máquina atómica, uma construção em camadas verticais sucessivas (donde o nome de «pilhas») separadas por intervalos entre os quais se podem colocar, mais ou menos profundamente, placas de material absorvente de neutrões (boro ou cádmio). A absorção dos neutrões é tanto maior quanto mais profundamente descem as placas absorventes e a posição destas é regulada automàticamente por meio de «relais» comandados por câmaras de ionização que medem a intensidade de neutrões emitidos pela máquina.

Nos modelos conhecidos uma máquina atómica é formada por um conjunto de paralelipípedos de carbono muito puro, nos quais se praticam cavidades cilíndricas horizontais. Nestas introduzem-se barras de urânio natural, assim como canalização adequada para o arrefecimento da máquina e consequente aproveitamento da energia libertada. Os paralelipípedos de carvão são reunidos em grupos e estes separados por fendas verticais, nas quais se movem as placas de material absorvente.

A regulação automática absolutamente segura é possível, em particular graças à existência dos neutrões retardados a que atrás nos referimos, visto eles darem uma espécie de inércia à máquina, não permitindo uma propagação instantânea da

reacção em cadeia. O chamado «tempo de relaxação» pode ir até 4 horas.

A realização

A 1.ª máquina atómica foi construída no centro da cidade de Chicago, num prédio absolutamente qualquer, e foi posta a funcionar (isto é, *juntaram-se os seus «bocados»*) pela primeira vez em 2 de Dezembro de 1942, dando então apenas 1/2 Watt. No dia 12 seguinte já dava 200 W. O seu material consta de 6 toneladas de carbono puro e de 6,2 kg de urânio metálico. As placas absorventes são de cádmio.

Numa tal máquina, embora a fracção dos neutrões que passam pela energia de 25 eV seja pequena, como o número de neutrões é muito grande, dá-se ainda uma produção apreciável de plutónio segundo a reacão que já apontámos. No entanto a 1.ª máquina de Chicago ainda levaria 70.000 *anos* para fazer 100 kg de plutónio.

De facto, já em 1942 se tinha calculado que para ter 1 kg de plutónio por dia era necessária uma máquina que desse cerca de 1 milhão de kW.

Já vimos atrás a importância que podia ter, para a construção de bombas, uma produção intensiva de plutónio. Por isso, desde 1942, se começaram a estudar os planos de grandes máquinas atómicas. Os maiores obstáculos a vencer encontraram-se no sistema de arrefecimento...

É efectivamente notável a visão grandiosa que os dirigentes americanos tiveram, neste caso, da maneira de atacar um problema científico. De facto, os físicos americanos receberam os créditos que pediram para a construção duma máquina atómica de 1 milhão de kW (em Hanford, estado de Washington), capaz de produzir 1 kg de plutónio *por dia,* num momento em que, em toda a América, existia menos de 1 mg de plutónio. E é também digno de registo que uma quantidade ainda menor já tivesse permitido aos químicos fazerem a identificação do novo elemento, determinar que tem as valências 3, 4, 5 e 6 e que é o 2.º elemento dum novo grupo de «terras raras» começando com o urânio; determinaram-se também processos de separação do plutónio formado no urânio. Sabe-se hoje que existem 2 isómeros de plutónio...

A 1.ª grande «pilha» começou a construir-se em Junho de 1943 e foi «ligada» em Setembro de 1944. No verão de 1945 já trabalhavam 3 destas pilhas!

5. BOMBAS ATÓMICAS

Do mesmo modo que o dinamite tem servido, felizmente, muito mais para fins pacíficos do que para as destruições da guerra, também é lícito esperar que as bombas atómicas encontrem brevemente importantes aplicações ao serviço do bem dos homens. E é ùnicamente por estar convencido de que assim será que não me recuso a reproduzir algumas informações acerca desta «invenção».

Uma bomba atómica, actualmente, não é tão leve como se poderia supor embora se tenha calculado que 1 kg de U^{235} já é equivalente (do ponto de vista explosivo) a 20.000 toneladas de T. N. T. De facto, se a bomba só contivesse U^{235}, a explosão de parte deste seria *tão rápida* que afastaria imediatamente a parte restante sem que esta tivesse acção alguma, visto que todo o efeito é esperado duma concentração de urânio. Por isso, a bomba é rodeada por uma expessa camada dum material muito denso (chumbo ou ouro) e é a inércia que este oferece ao deslocamento que dá aos neutrões o tempo necessário para executarem completamente a sua acção desintegradora do U^{235}. Deste modo, é a massa total deste que se desintegra ao mesmo tempo, dando o terrível efeito que todos conhecem. Sabe-se (?) também que a fonte de neutrões vai no centro da bomba e que o U^{235} está repartido em sectores circunjacentes no interior duma espécie de pequenos canhões. Cada uma destas porções de U^{235} não têm uma massa suficiente para que nela seja de recear a reacção explosiva.

No momento em que se quere a explosão, os referidos canhões devem disparar simultâneamente os seus pedaços de U^{235} e a junção simultânea destes em torno da fonte de neutrões já reune quantidade suficiente para que se dê a reacção explosiva instantânea.

Estas últimas indicações são muito sumárias e são dadas sem garantia visto tratar-se, infelizmente, duma invenção sobre a qual pesa ainda um misterioso segredo que faz pensar tristemente na Idade Média...

Mas, com a esperança de melhor fazer compreender a repulsa que deve inspirar esta nova arma, como tal, talvez seja útil reproduzir aqui, com a autorização expressa do autor, alguns dados calculados (com todo o rigor possível) pelo meu colega J. Rossel para uma *hipotética* bomba de urânio com água pesada, com 10 g/l de urânio contendo 50 % de cada isótopo. O raio mínimo teria de ser de 30 cm (no momento da explosão) e o peso seria de mais de 100 quilos sem contar o material retardador a que atrás me referi. Se a explosão é determinada por um único neutrão dura $\frac{1}{20}$ s e são postos em liberdade 13.000.000 kWh. Se toda esta energia é transformada em calor, a temperatura local eleva-se a 10 milhões de graus (da ordem de temperatura do Sol). Nestas condições mais de 95 % das radiações electromagnéticas emitidas pertencem à zona mortal dos raios X e ultravioletas (os que o Sol emite são absorvidos pela atmosfera). A 5 km de distância do local da explosão a densidade de neutrões é ainda de 10^{13} por m^2 o que dá 1 milhão de reacções nucleares por cada cm^3 dum corpo humano aí colocado. Este número corresponde a uma intensidade cerca de 100 vezes maior que a dose mortal de neutrões.

As notícias largamente divulgadas do nefasto efeito da bomba, mesmo sobre indivíduos não directamente atingidos, mostram bem que estes cálculos se aproximam infelizmente duma realidade que será provàvelmente ainda pior.

6. PERSPECTIVAS DE FUTURO

A descoberta do aproveitamento industrial de energia atómica tem determinado, independentemente de considerações momentâneas de carácter agressivo, o interesse de toda a humanidade consciente.

Por este motivo, além dos Estados Unidos, do Império Britânico, da União Soviética e da França que, como grandes potências, começaram naturalmente a estudar o aproveitamento da energia atómica desde 1940, verifica-se desde o fim da guerra que pequenos países, progressivos é certo, estão a prestar grande atenção ao mesmo problema.

Assim, na Suécia e na Suíça os respectivos Governos criaram «Comissões da Energia Atómica» encarregadas de promover e orientar estudos de Física Nuclear à luz da grande descoberta do nosso tempo. Num caso como noutro é de supor que o fim daquele estudo é triplo: 1.º) procurar fazer máquinas atómicas do tipo americano, 2.º) investigar novos processos nucleares capazes de servirem de base à construção de máquinas atómicas menos custosas e mais simples, 3.º) preparar técnicos e engenheiros* na previsão de uma possível substituição das fontes de energia hidro-eléctricas por máquinas atómicas (eventualmente importadas mesmo dos grandes países construtores).

A Suécia e a Suíça dispõem ambas de ciclotrões em funcionamento. A Holanda tem um já em ensaios e é provável que brevemente outro tanto suceda na Roménia e na Polónia. A Bélgica, mercê das suas grandes riquezas mineiras em urânio parece ter concluído algum acordo especial com os Estados Unidos. Em Zurich dizia-se há meses que a Espanha pensava mandar lá fazer um ciclotrão...

Mas terá o problema realmente a importância que parece resultar da atenção que está merecendo em tantos países?

Responderei pela afirmativa, e com os seguintes argumentos:

1.º — É seguro que se podem construir máquinas atómicas capazes de fornecer 1 milhão de kW (mais do que a potência total de que a Suíça dispõe por aproveitamento hidroeléctrico). Uma máquina para mil kW teria, aproximadamente, as dimensões dum cubo com 2 metros de aresta.

2.º — O preço do kW-h sob a forma de energia eléctrica deve orçar por 20 centavos, incluidas todas as despezas.

---

* Veja-se também o artigo «Engenharia Atómica?» por T. V. Kárman na Gazeta de Física, n.º 1, pág. 18 1946.

3.º — Em França, o «Centre National de la Recherche Scientifique» dirigido pelo Prof. Joliot-Curie pensa promover a construção de 2 ou 3 máquinas atómicas nos próximos anos.

4.º — Na América a grande máquina de 1 milhão de kW de Pasco-Hanford (Washington) foi construída em pouco mais dum ano. No ano seguinte já se tinham construído mais duas.

5.º — As máquinas atómicas fornecem energia principalmente sob a forma de calor (cerca de 1000° C). O aproveitamento das enormes energias produzidas exige pois a montagem de turbinas (a vapor ou a gás), centrais eléctricas, etc., e não ameaça, portanto, as indústrias existentes.

6.º — É evidente que as imensas possibilidades abertas pela nova fonte de energia, inesgotável e ilimitada, vão forçar a revisão e alargamento de todos os planos de industrialização a longo prazo em curso de realização.

Creio assim suficientemente justificada a minha afirmativa. Nos países atrás citados não se dispunha, seguramente, de mais informações do que as que aqui se registaram e estas bastaram para que se actuasse. E assim se deverá fazer em todos os países ciosos de independência e em que se queira lutar contra o nível miserável das populações rurais e não vegetar na falta de iniciativa e na preguiça mental.

Agora, o que mais nos interessa, a nós portugueses, é examinarmos a seguinte questão: *Qual é a posição de Portugal relativamente ao problema de energia atómica?*

Podemos estar convencidos de que a nossa situação, embora diferindo nos detalhes, não é, em média, menos favorável do que a dos outros pequenos países atrás citados. Estes têm certas possibilidades que nós não temos mas, em compensação, possuimos vantagens que outros não têm.

As principais desvantagens que pesam sobre nós são as seguintes:

1.º — Não possuímos desde já número suficiente de técnicos, físicos, químicos e de laboratórios de investigação.

2.º — Não podemos contar com indústrias químicas e metalúrgicas desenvolvidas ou progressivas.

3.º — Não podemos esperar o auxílio de grandes capitais privados.

4.º — Não teremos provàvelmente a confiança e o apoio incondicionais do Estado.

5.º — Não devemos esperar, e isto é talvez o mais grave, a compreensão da grande maioria do nosso povo por ele não estar em condições de se aperceber da importância vital do problema.

Estes factores negativos não podem deixar de ser cuidadosamente ponderados. Mas não nos devem assustar e devem antes ser activamente combatidos por todos nós, tanto mais que não é apenas no que aqui se considera que eles exercem, ou podem exercer, a sua acção nefasta.

Mas por outro lado dispomos de certas condições favoráveis:

1.º — Possuímos *de facto,* embora poucos, alguns físicos e técnicos capazes de *abordar* imediatamente o problema da energia atómica.

2.º — Muitos dos nossos engenheiros químicos têm uma cultura geral suficiente para que possam adquirir, em poucos anos de trabalho assíduo, em centros apropriados, a preparação necessária para a resolução dos problemas que lhes seriam postos.

3.º — Em Portugal mesmo, existem apreciáveis minas de urânio, e é seguro que esse precioso metal existe nas nossas Colónias, provàvelmente em grande abundância.

4.º — Existem, desde já, os técnicos capazes de dirigirem a prospecção do urânio e a exploração nacional dos jazigos descobertos ou a descobrir.

5.º — O Instituto para a Alta Cultura, as Faculdades de Ciências e de Engenharia, o Instituto Superior Técnico, as Faculdades de Medicina e Farmácia, os Ministérios da da Instrução, das Colónias, das Obras Públicas e da Guerra são instituições oficiais que podem, desejam ou devem dar o mais completo auxílio à organização da exploração nacional da energia atómica.

6.º — Finalmente, Portugal não pode escapar à tendência geral que no mundo inteiro leva os povos a terem cada vez mais

confiança na ala progressiva dos seus homens de ciência.

E agora, como actuar? ...

No nosso País, os indivíduos capazes de compreender, imediatamente, a importância e urgência do problema, além da escassa dúzia de físicos que possuimos, são os nossos engenheiros!

É pois a eles, à sua competência profissional, à sua responsabilidade individual e colectiva, à consciência que terão certamente das consequências da sua atitude, que devemos dirigir um apelo vibrante para que dêem, com o maior entusiasmo, o seu apoio essencial à obra do aproveitamento nacional da energia atómica.

É evidente que não podemos pensar em colher resultados imediatamente, mas nem mesmo a longo prazo se poderão obter se um projecto não for apresentado quanto antes ao País e a mais quem de direito, em toda a sua amplitude.

O aproveitamento nacional da energia atómica precisa, indispensàvelmente, de ser organizado em bases muito largas, de acordo com um plano cuidadoso e criteriosamente elaborado pelas pessoas competentes: poderes públicos, representantes da indústria privada, engenheiros, economistas, químicos e físicos ...

Para responder desde já à crónica censura da «falta de remédio», tomo a liberdade de indicar muito esquemàticamente um projecto, certamente ainda muito grosseiro, que poderia servir de 1.ª base para o estabelecimento do plano. Este seria um plano de 20 anos, repartido por grupos de cinco anos, nos quais se realizaria, essencialmente, o seguinte:

Primeiros 5 anos: 1.º) Preparação e distribuição de prospectores de urânio por Portugal e Colónias. 2.º) Preparação e envio de físicos, químicos, engenheiros e matemáticos para diversos centros estrangeiros onde ficariam 4 anos. 3.º) Criação de laboratórios de investigação.

Dos 5 aos 10 anos: 1.º) Organização da indústria química, aquisição e montagem de material electrotécnico, criação de laboratórios de investigação técnica industrial e dum grande laboratório de Física Nuclear de acordo com as indicações dos especialistas regressados ao País. 2.º) Exploração das minas descobertas ou organizadas durante o período anterior, 3.º) Envio de novo grupo ao estrangeiro.

Dos 10 aos 15 anos: Estudos científicos e teóricos de laboratório e primeiros ensaios de montagem de pequenas máquinas atómicas.

Dos 15 aos 20 anos: Montagem de 2 ou 3 grandes máquinas atómicas.

Note-se que, propor que o peso principal do nosso esforço, nos próximos 20 anos, penda para a obra da energia atómica não quere dizer, de modo algum, que o aproveitamento da energia hidroeléctrica não continue a ter a mesma importância ou deva ser suspenso. *Pelo contrário,* actualmente essa grande tarefa deve merecer o mais completo apoio de todos e, sem dúvida, é dela que depende em grande parte o ritmo, senão o sucesso, da obra da energia atómica.

O aproveitamento da energia hidroeléctrica é uma das condições necessárias para um mais rápido aproveitamento da energia atómica, mas é este que devemos considerar como o problema industrial n.º 1 do nosso tempo.

Com efeito, nesta matéria, a gravidade dum abstencionismo aparece suficientemente grande para se poder pensar que uma tal atitude, a ser sistemática, poderia pôr em causa a nossa própria independência.

O interesse de todos, o trabalho, a luta e os sacrifícios dos técnicos e cientistas, a compreensão dos poderes públicos são essenciais, são vitais, para o nosso País!

NOTA. Durante a impressão, soubemos pelos jornais que o orçamento dos Estados Unidos prevê para 1947 uma despesa de 11 *milhões de contos* para a Comissão da Energia Atómica, verba que representa cerca de 1,5 % do referido orçamento. Estes mesmos 1,5 % aplicados ao nosso orçamento para 1947 (com despesas num total de cerca de 5 milhões de contos) dariam a verba de 75.000 *contos*, perfeitamente suficiente para a execução, no primeiro ano, do programa acima sugerido.

INSTITUTO PARA A ALTA CULTURA
CENTRO DE ESTUDOS DE ENGENHARIA CIVIL
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO · LISBOA
PUBLICAÇÃO N.º 5

Determinação de tensões no betão pelo método do tensómetro fotoelástico

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) ANTÓNIO DE SOUSA COUTINHO
Assistente do I. S. T.
Bolseiro do I. A. C.

(Conclusão)

C. D. 624.04.012.4

CAPÍTULO III

As tensões iniciais no espelho provocadas pela contracção do betão

17. As tensões iniciais. — Quando sobre a peça que contém o espelho não actuam quaisquer forças exteriores observa-se que esse espelho está submetido a tensões iniciais às quais podem chegar a corresponder tensões no betão da ordem dos 20 kg/cm². Então, quando actuam as forças exteriores, as tensões observadas no espelho resultam da sobreposição das tensões iniciais com as tensões provocadas por essas forças.

A observação mostra que é impossível, a priori, prever o valor das tensões iniciais num determinado instante e num determinado local: os seus valores são fortemente variáveis com o tempo, com o estado da atmosfera ambiente e com o espelho considerado. A direcção das tensões principais iniciais é também muito variável.

Nestas condições, a existência de tais tensões no espelho constitui um grave obstáculo para o conhecimento das tensões existentes num ponto qualquer duma construção. Com efeito, ao medir a tensão num espelho colocado numa estrutura, será impossível corrigir as tensões observadas das tensões iniciais, pois nem se conhece o seu valor nem a sua direcção.

Contudo, esta dificuldade pode fàcilmente ser eliminada, como se vai mostrar a seguir.

18. Modo de eliminar as tensões iniciais. — A experiência mostrou que se se mergulhar em água a peça na qual está colocado o espelho circular que acusa as tensões iniciais, σ_i, ao fim de algum tempo de imersão, que depende principalmente da temperatura da água, essa tensão inicial atinge um valor pràticamente desprezível, que se mantém no decorrer do tempo de acção da água (fig. 23).

Dado o carácter extremamente localizado das tensões iniciais provocadas pelo espelho

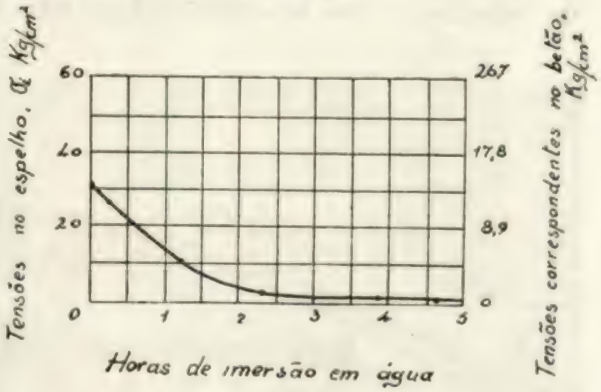


Fig. 23
Variação das tensões iniciais num espelho circular colocado num prisma de argamassa, com o tempo de acção da água

no betão (§ 19), não é necessário mergulhar toda a peça na água para que as tensões iniciais desapareçam. Na verdade, observou-se experimentalmente que bastava saturar de água uma zona com um diâmetro de cerca de 20 cm, para se obter o mesmo efeito que se se mergulhasse toda a peça.

A curva que então representa a variação das tensões iniciais no espelho em função do tempo de acção da água tem o mesmo aspecto da representada na fig. 23.

Este pormenor é, evidentemente, essencial na determinação das tensões nas construções.

As figs. 24 e 25 mostram o dispositivo utilizado para a obtenção duma molhagem

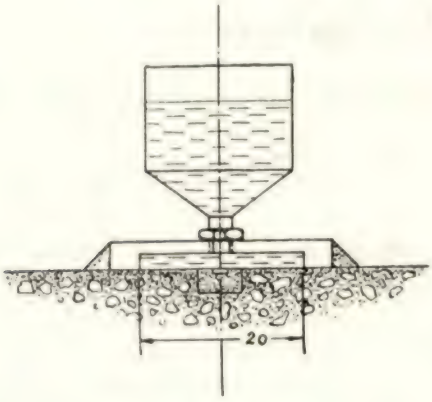


Fig. 24
Esquema dum dispositivo de molhagem

da zona da superfície do betão que contém o espelho.

Em certos casos, para vencer a dificuldade da existência das tensões iniciais, não é

Fig. 25
Dispositivos de molhagem montados numa cobertura
(Hangar do Aeroporto da Portela de Sacavém)

necessário proceder à sua eliminação recorrendo à acção da água. Isto acontece quando não interesse determinar as tensões devidas ao peso próprio e quando se apliquem as forças à estrutura dum modo tal que seja possível fazer observações das tensões no espelho, antes e após a aplicação destas forças, num pequeno intervalo de tempo.

Nestes casos particulares, contudo muito correntes nos ensaios de laboratório, determina-se em primeiro lugar a direcção e a grandeza das tensões principais iniciais. Em seguida, logo após a aplicação das forças, faz-se a determinação da nova direcção e das novas grandezas das tensões principais.

As conhecidas expressões de composição de tensões permitem calcular a direcção e grandeza das tensões principais devidas apenas à acção das forças exteriores ([1]).

Na aplicação deste método é necessário não esquecer que, com as variações do estado higrométrico da atmosfera ambiente, as tensões iniciais variam também. Portanto, é indispensável fazer as observações num intervalo de tempo durante o qual as condições desta atmosfera se possam considerar constantes. Além disto, ainda parece que em virtude da aplicação das forças exteriores, as tensões iniciais devidas à contracção tendem a progredir (ver fig. 31).

Sempre que for possível, este método deve ser preferido ao da acção da água, pois se atinge com ele uma maior precisão. De facto, a embebição pela água, da zona que contém o espelho, normalmente, não conduz a um valor da tensão inicial rigorosamente nulo, embora este valor não exceda, em geral, 1 kg/cm^2.

19. Estudo analítico da influência duma inserção circular doutro material sobre as tensões no betão. — Um espelho ou, dum modo geral, qualquer inserção colocada no seio do betão constitue um obstáculo à sua livre contracção. Sobre ela irá incidir uma compressão provocada por esta contracção, da qual resultarão tensões na inserção e no betão.

Considerando certas hipóteses simplificadoras é possível obter, analìticamente, algumas informações sobre a distribuição destas tensões.

([1]) Coker and Filon, *A Treatise on Photoelasticity*, pág. 258, Cambridge University Press, 1931.

Consideremos (fig. 26) uma placa indefinida, elástica, homogénea e isótropa, de espessura igual à unidade, contraindo-se uniformemente em todas as direcções do seu

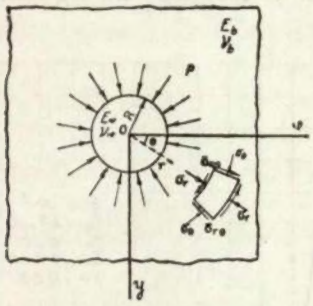


Fig. 26

plano. Suponhamos que num ponto qualquer dessa placa existe uma inserção circular, elástica, homogénea e isótropa, com a mesma espessura unitária e com um módulo de elasticidade e um coeficiente de Poisson diferentes dos da placa.

Em virtude da contracção cria-se, no contorno da inserção, uma pressão, p, que, em virtude da simetria deste fenómeno, se distribui uniformemente ao longo do perímetro da inserção.

Nestas condições, a distribuição das tensões na placa é simétrica em relação a um eixo normal ao plano da placa e passando por O.

Então, as tensões σ_r, σ_θ e $\tau_{r\theta}$ desenvolvidas num ponto da placa de coordenadas (r, θ) (fig. 26) são dadas pelas expressões [1]:

$$\sigma_r = \frac{A}{r^2} + B\,(1 + 2 \log r) + 2\,C$$

$$\sigma_\theta = -\frac{A}{r^2} + B\,(3 + 2 \log r) + 2\,C \qquad (a)$$

$$\tau_{r\theta} = 0\,,$$

onde A, B e C são constantes que dependem das condições aos limites.

Para $r = \infty$, isto é, numa zona suficientemente afastada da inserção circular, é claro que as tensões σ_r, σ_θ, e $\tau_{r\theta}$ deverão anular-se e portanto B e C têm de ser nulos.

Logo

$$\sigma_r = \frac{A}{r^2}$$

$$\sigma_\theta = -\frac{A}{r^2} \qquad (b)$$

$$\tau_{r\theta} = 0\,.$$

Para calcular a constante A basta notar que no contorno do disco de raio R inserido na placa, a tensão σ_r é a pressão que aí existe, p. Portanto,

$$p = \frac{A}{R^2}\,. \qquad (c)$$

Substituindo em (b) o valor de A tirado desta expressão, obtém-se

$$\sigma_r = p\,\frac{R^2}{r^2}$$

$$\sigma_\theta = -p\,\frac{R^2}{r^2} \qquad (d)$$

$$\tau_{r\theta} = 0\,.$$

Para determinar a pressão, p, em função da contracção unitária da placa, δ, é necessário introduzir a condição da ligação entre as superfícies de contacto da placa e da inserção se manter sempre.

Ora, notemos que o deslocamente, u, dum ponto da placa numa direcção radial, é, neste caso de simetria [1]

$$u = -\frac{p\,R^2}{E_b\,r}\,(1 + \nu_b)\,, \qquad (e)$$

onde E_b e ν_b são, respectivamente, o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson da substância da placa.

Considerando a inserção isolada e submetida à pressão p, fàcilmente se verifica que as tensões desenvolvidas em qualquer ponto do disco são

$$\sigma_{rv} = \sigma_{\theta v} = p$$

$$\tau_{r\theta v} = 0\,. \qquad (f)$$

---

(1) S. Timoshenko, *Theory of Elasticity*, pág. 55, 1.ª ed, 1934.

(1) S. Timoshenko, *Theory of Elasticity*, pág. 64, 1.ª ed., 1934.

A deformação unitária, numa direcção radial, num ponto qualquer da inserção, ε, será então (lei de Hooke)

$$\varepsilon = \frac{p\,(1-\nu_v)}{E_v} \qquad (g)$$

sendo E_v e ν_v respectivamente, o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson da substância da inserção.

Se não houvesse inserção mas apenas um furo, o deslocamento de qualquer ponto da superfície desse furo seria δR. Como há a inserção, e visto que o deslocamento numa direcção radial dum ponto da inserção na superfície de contacto é εR, para restabelecer δR é necessário aplicar à placa, na superfície de contacto com a inserção ($r = R$), um sistema de forças igual e oposto a p, tal que produza um deslocamento

$$u_R = \delta R - \varepsilon R\,. \qquad (h)$$

Notando então que u_R é dado pela expressão (e)

$$u_R = \frac{p\,R}{E_b}(1+\nu_b) \qquad (i)$$

e que ε é dado pela expressão (g), da equação (h) tira-se:

$$p = \frac{\delta\,E_v\,E_b}{E_b\,(1-\nu_v) + E_v\,(1+\nu_b)}\,. \qquad (8)$$

Portanto, os valores das tensões em qualquer ponto da placa serão dados pelas expressões

$$\sigma_r = \frac{\delta\,E_v\,E_b}{E_b\,(1-\nu_v) + E_v\,(1+\nu_b)}\,\frac{R^2}{r^2}$$

$$\sigma_\theta = -\frac{\delta\,E_v\,E_b}{E_b\,(1-\nu_v) + E_v\,(1+\nu_b)}\,\frac{R^2}{r^2} \qquad (9)$$

$$\tau_{r\theta} = 0\,.$$

Os valores das tensões em qualquer ponto do disco serão então

$$\sigma_{rv} = \sigma_{\theta v} = \frac{\delta\,E_v\,E_b}{E_b\,(1-\nu_v) + E_v\,(1+\nu_b)} \qquad (10)$$

$$\tau_{r\theta v} = 0\,.$$

A fig. 27 mostra a variação dos valores das tensões, σ_r, em função da distância, r, dum ponto da placa ao centro da inserção de raio R, no caso da contracção unitária ser de $\delta = -0{,}001$ e das constantes elásticas terem o valor indicado na figura.

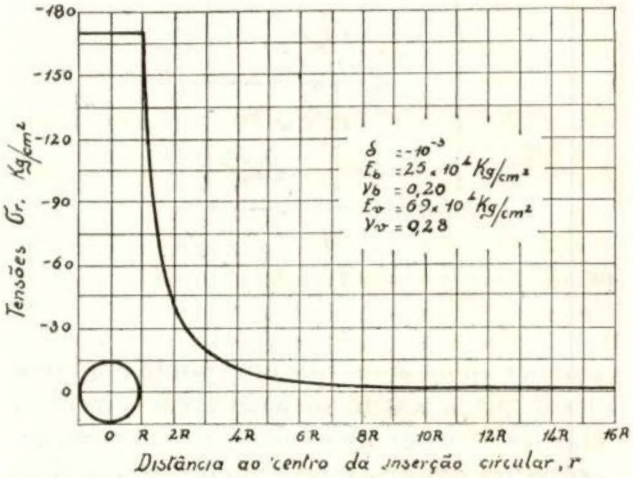


Fig. 27
Variação da tensão σ_r com a distância r

A tensão σ_θ na placa distribui-se do mesmo modo que σ_r, mas é de sinal contrário.

Como se vê, as tensões diminuem muito ràpidamente com o aumento da distância, r. A uma distância de $3\,R$ a intensidade das tensões é cerca de 0,10 da intensidade na zona de contacto, e à distância de $10\,R$ o valor das tensões é pràticamente desprezível.

Usando espelhos com 1 cm de raio, a zona perturbada pela sua presença terá cerca de 10 cm de raio, e então bastará anular a contracção δ nesta zona, para que o espelho fique livre das tensões iniciais.

Os valores das tensões dados por estes cálculos não foram nunca confirmados experimentalmente. Com efeito, as grandezas das tensões dadas por estas expressões são muitíssimo superiores às observadas, o que certamente é devido às deformações plásticas do betão, sobretudo enquanto ele está pouco consistente e ao facto da ligação do disco à placa se não fazer apenas pelos bordos, como se supôs no cálculo, mas também através da sua face interior. Além disto, também concorre, provàvelmente, para esta divergência,

o facto da ligação entre as duas superfícies de contacto não ser perfeita, pois haverá pequenas fracturas locais com as consequentes cedências e abaixamentos de tensões. Daqui resultará também a assimetria que se tem verificado experimentalmente na distribuição destas tensões.

CAPITULO IV

A independência entre a tensão no espelho e a deformação do betão

20. Influência do módulo de elasticidade da substância que contém o espelho. — Uma das questões essenciais que se põe ao investigar as propriedades do método presente, é a de saber se as tensões no espelho dependem ou não da deformação do betão na sua vizinhança.

Para estudar esta propriedade, uma das experiências efectuadas consistiu na variação das constantes elásticas da substância que continha o espelho, na determinação experimental de K (§ 5) e no estabelecimento da sua relação com o módulo de elasticidade desta substância.

Foram usados o gesso, de módulo de elasticidade variando de 34.000 kg/cm² a 86.500 kg/cm², pastas puras de cimento, de módulo de elasticidade variando de 100.000 kg/cm² a 200.000 kg/cm² e argamassas de cimento e areia, de módulo de elasticidade variando de 150.000 kg/cm² a 300.000 kg/cm².

Marcando em ordenadas os valores de K, e em abcissas as relações entre o módulo de elasticidade do vidro ($E_v = 690.000$ kg/cm²) e o módulo de elasticidade da substância que o continha, E_b, obteve-se o gráfico representado na fig. 28.

Apesar da grande dispersão obtida (1) é possível concluir que não haverá, certamente, uma marcada influência sobre o valor de K, do módulo de elasticidade da substância na qual o espelho está colocado.

A variação do coeficiente de Poisson, que não foi levada em conta, não influi pràticamente sobre o valor do coeficiente K, como se verá mais adiante (§ 22).

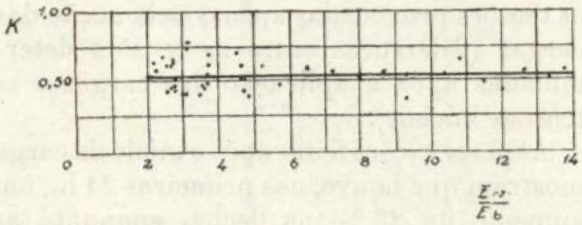


Fig. 28
Variação de K com o módulo de elasticidade da substância que contém o espelho

21. As tensões nos espelhos colocados numa viga submetida a uma carga constante. — A mais importante experiência que prova a independência entre a tensão no espelho e a deformação da substância que o contém, foi realizada com o ensaio duma viga de argamassa armada sujeita a uma carga constante (fig. 29).

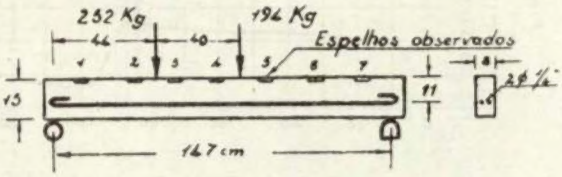


Fig. 29
Esquema da viga ensaiada a carga constante

Momentos antes do início da carga foram determinadas as tensões iniciais nos espelhos

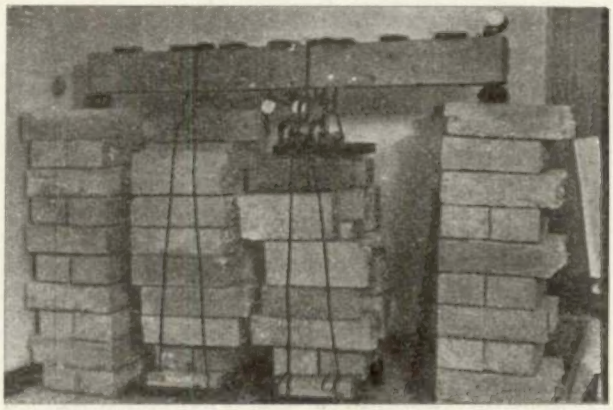


Fig. 30
Aspecto da viga ensaiada a carga constante

1 a 7 (fig. 29). Logo após a aplicação das forças (fig. 30) foram medidas não só as

(1) Esta grande dispersão é devida à imperfeição dos métodos de observação de que então se dispunha, pois estas experiências foram das primeiras a ser efectuadas.

tensões nos mesmos espelhos mas também a flecha na secção média da viga.

As ordenadas das curvas no ponto de abcissa O (fig. 31) representam esta flecha e as tensões provocadas apenas pela acção das cargas (diferenças entre as tensões determinadas após a aplicação das cargas e as tensões iniciais).

As observações feitas após o início da carga mostram que houve, nas primeiras 24 h., um aumento de 23 % na flecha, enquanto as tensões sofreram sòmente um ligeiro aumento (fig. 31).

Este aumento das tensões deve ser atribuido, não ao aumento da deformação, mas ao progresso da contracção da argamassa.

vizinhança dos espelhos, as tensões totais acusadas por eles aumentam com o decorrer do tempo, em virtude do progresso da contracção.

Após 3 meses de actuação da carga, procedeu-se a uma nova molhagem dos espelhos, e verificou-se que as tensões variavam ràpidamente, atingindo a estacionaridade ao fim de 5 a 6 dias. Estas tensões são muito aproximadamente as tensões na origem O (fig. 31), o que leva a concluir que a operação de molhagem provoca o desaparecimento das tensões iniciais, mesmo ao fim de alguns meses de actuação das cargas. Os seus valores, bem como o da flecha determinada nesta ocasião, estão indicados no Quadro V.

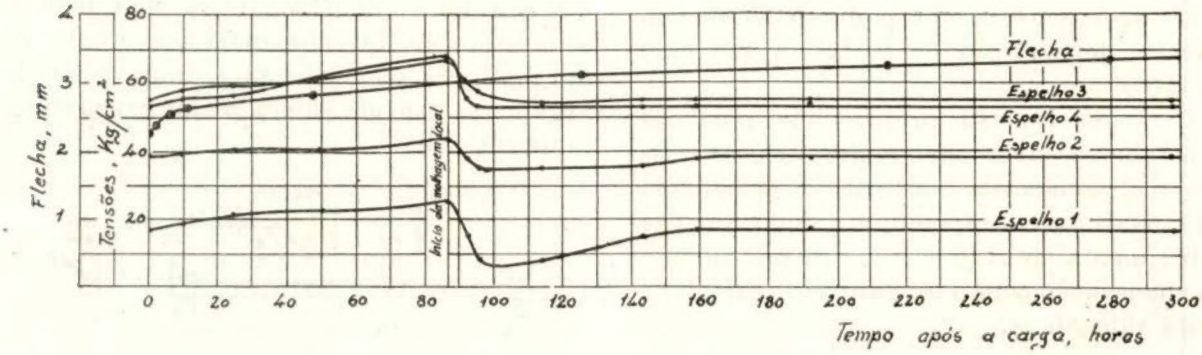


Fig. 31

Comparação da evolução da tensão nos espelhos com a variação da flecha da viga

De facto, embebendo com água a argamassa na vizinhança dos espelhos observados, as tensões nestes espelhos, ao fim de algum tempo (cerca de 3 dias) tomaram o valor que tinha sido acusado apenas pela acção das forças exteriores, isto é, os espelhos ficaram apenas submetidos à tensão representada pelas ordenadas das curvas nos pontos de abcissa O (fig. 31), pois, como já se viu (§ 18), esta molhagem elimina as tensões iniciais devidas à contracção do cimento.

Conservando molhada a zona da argamassa na vizinhança dos espelhos, a fig. 31 mostra que o valor das tensões nos espelhos se mantém constante com o decorrer do tempo, enquanto a flecha da viga vai sempre aumentando.

Mantendo ao ar livre do laboratório a

Para calcular estas tensões na argamassa, utilizou-se o mesmo valor de K que o usado para o cálculo das tensões provocadas pela acção instantânea das cargas.

De facto, observações feitas em prismas de argamassa com 2 a 3 anos de idade, não revelaram qualquer variação no valor do coeficiente K, isto é, este valor mantém-se constante, pelo menos quando o betão é conservado livre de forças exteriores.

Após 10 meses de carga, procedeu-se a nova determinação das tensões. Nesta fase, a acção da água é extremamente lenta, pois sòmente após cerca de 50 a 60 dias de molhagem contínua, as tensões retomaram sensìvelmente os valores das tensões provocadas apenas pelas forças exteriores (Quadro V). Nota-se no entanto uma anomalia no espelho n.º 6, a qual se não sabe explicar.